

**ФГОС 3+**

**Ф.П. ТАРАСЕНКО**

# **ПРИКЛАДНОЙ СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ**

Допущено Советом УМО  
по образованию в области менеджмента  
в качестве **учебного пособия**  
по специальности «Государственное  
и муниципальное управление»

Второе издание, переработанное и дополненное

**BOOK.ru**

ЭЛЕКТРОННО-БИБЛИОТЕЧНАЯ СИСТЕМА

**КНОРУС • МОСКВА • 2017**

УДК 002+517(075.8)  
ББК 32.81+22.16я73  
Т19

**Рецензенты:**

**В.А. Кочегуров**, академик Международной академии информатизации, проф. кафедры прикладной математики Томского политехнического университета, д-р техн. наук,

**А.М. Кориков**, засл. деятель науки РФ, заведующий кафедрой автоматизированных систем управления Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, д-р техн. наук, проф.

**Тарасенко, Феликс Петрович.**

**Т19** Прикладной системный анализ : учебное пособие / Ф.П. Тарасенко — 2-е изд., перераб и доп. — Москва : КНОРУС, 2017. — 322 с. — (Бакалавриат и магистратура).

ISBN 978-5-406-05362-1

DOI 10.15216/978-5-406-05362-1

Содержится описание созданной в последние десятилетия теоретиками и практиками системного анализа технологии решения проблем реальной жизни. В первой, методологической, части курса даются базовые понятия системологии, необходимые для обоснования и изложения технологии. Вторая часть курса описывает рекомендуемую технологию, следование которой повышает вероятность успешного решения проблем. В третьей части, дополняющей новое издание книги, дается краткий обзор основных результатов, полученных системными науками за последнее столетие.

Соответствует ФГОС ВО 3+.

*Для студентов и специалистов в области управления, а также профессионалов-управленцев различного профиля.*

УДК 002+517(075.8)  
ББК 32.81+22.16я73

**Тарасенко Феликс Петрович**  
**ПРИКЛАДНОЙ СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ**

Сертификат соответствия № РОСС RU.АГ51.Н03820 от 08.09.2015.

Изд. № 8337. Подписано в печать 11.05.2016. Формат 60×90/16.

Гарнитура «NewtonС». Печать офсетная.

Усл. печ. л. 20,0. Уч.-изд. л. 15,5. Тираж 500 экз.

ООО «Издательство «КноРус».

117218, г. Москва, ул. Кедрова, д. 14, корп. 2.

Тел.: 8-495-741-46-28.

E-mail: office@knorus.ru <http://www.knorus.ru>

Отпечатано в ПАО «Т8 Издательские Технологии».

109316, г. Москва, Волгоградский проспект, д. 42, корп. 5.

Тел.: 8-495-221-89-80.

ISBN 978-5-406-05362-1

© Тарасенко Ф.П., 2017

© ООО «Издательство «КноРус», 2017

Предисловие.....	5
Введение. Как возник системный анализ.....	7
Контрольные вопросы и задания.....	10

**ЧАСТЬ I.  
СИСТЕМНОЕ МЫШЛЕНИЕ: МЕТОДОЛОГИЯ  
ПРИКЛАДНОГО СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА**

<i>Глава 1. ПРОБЛЕМА И СПОСОБЫ ЕЕ РЕШЕНИЯ</i> .....	12
1.1. Варианты решения проблем.....	13
1.2. Способы влияния на субъект.....	13
1.3. Вмешательство в реальность.....	14
1.4. Три типа идеологий.....	16
1.5. Осуществимо ли улучшающее вмешательство.....	18
1.6. Четыре типа вмешательства.....	20
1.7. Еще о прикладном системном анализе.....	26
Контрольные вопросы и задания.....	28
<i>Глава 2. ПОНЯТИЕ СИСТЕМЫ</i> .....	29
2.1. Статические свойства системы.....	30
2.2. Динамические свойства системы.....	38
2.3. Синтетические свойства системы.....	45
2.4. Заключение (системная картина мира).....	55
Контрольные вопросы и задания.....	56
<i>Глава 3. МОДЕЛИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ</i> .....	58
3.1. Моделирование — неотъемлемая часть любой деятельности.....	58
3.2. Анализ и синтез как методы построения моделей.....	61
3.3. Что такое модель?.....	63
3.4. Аналитический подход к понятию модели.....	64
3.5. Классификация — простейшая абстрактная модель разнообразия реальности.....	68
3.6. Искусственная и естественная классификации.....	70
3.7. Реальные модели.....	73
3.8. Синтетический подход к понятию модели.....	74
3.9. Понятие адекватности.....	77
3.10. Согласованность модели с культурой.....	78
3.11. Иерархия моделей.....	79
3.12. Заключение.....	80
Контрольные вопросы и задания.....	80
<i>Глава 4. УПРАВЛЕНИЕ</i> .....	82
4.1. Аналитический подход к управлению: пять компонентов управления.....	82
4.2. Этап нахождения нужного управления.....	85
4.3. Синтетический подход к управлению: семь типов управления.....	86
4.4. Выводы.....	98
Контрольные вопросы и задания.....	100

**ЧАСТЬ II  
СИСТЕМНАЯ ПРАКТИКА: ТЕХНОЛОГИЯ  
ПРИКЛАДНОГО СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА**

<i>Глава 5. ЭТАПЫ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА</i> .....	102
5.1. Этап первый. Фиксация проблемы.....	106
5.2. Этап второй. Диагностика проблемы.....	107

5.3. Этап третий. Составление списка стейкхолдеров . . . . .	108
5.4. Этап четвертый. Выявление проблемного месива . . . . .	115
5.5. Этап пятый. Определение конфигуратора . . . . .	127
5.6. Этап шестой. Целевыявление . . . . .	130
5.7. Этап седьмой. Определение критериев . . . . .	141
5.8. Этап восьмой. Экспериментальное исследование систем . . . . .	144
5.9. Этап девятый. Построение и усовершенствование моделей . . . . .	157
5.10. Этап десятый. Генерирование альтернатив . . . . .	160
5.11. Этап одиннадцатый. Выбор, или принятие решения . . . . .	179
5.12. Этап двенадцатый. Реализация улучшающего вмешательства. . . . .	203
Контрольные вопросы и задания . . . . .	220

### ЧАСТЬ III КРАТКИЙ ОБЗОР РЕЗУЛЬТАТО В СИСТЕМОЛОГИИ XX ВЕКА

<i>Глава 6. СОВРЕМЕННЫЙ ЭТАП РАЗВИТИЯ СИСТЕМНОСТИ МЫШЛЕНИЯ: ПЕРЕХОД ОТ ИДЕОЛОГИИ ВЕКА МАШИН К ИДЕОЛОГИИ ВЕКА СИСТЕМ . . . . .</i>	<i>222</i>
6.1. Начальные представления об устройстве Вселенной . . . . .	222
6.2. Специфика системности человека — культура субъекта как «вторая природа» . . . . .	224
6.3. Развитие модели мироздания: смена парадигм. . . . .	226
Контрольные вопросы и задания . . . . .	230
<i>Глава 7. ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМОСТАТИКИ . . . . .</i>	<i>231</i>
7.1. Целостность (в сочетании с открытостью, функциональностью, целесообразностью и эмерджентностью) . . . . .	231
7.2. Открытость (в сочетании с целесообразностью и функциональностью) . . . . .	233
7.3. Структурированность (в сочетании с внутренней неоднородностью системы, ее открытостью, функциональностью, эмерджентностью, целесообразностью) . . . . .	240
Контрольные вопросы и задания . . . . .	247
<i>Глава 8. ЭЛЕМЕНТЫ ДИНАМИКИ СИСТЕМ . . . . .</i>	<i>248</i>
8.1. Функциональность (в сочетании со структурированностью, целесообразностью и стимулируемостью) . . . . .	248
8.2. Стимулируемость (в сочетании с внутренней неоднородностью, структурированностью, функциональностью и целесообразностью) . . . . .	250
8.3. Изменчивость системы со временем (в сочетании с внутренней неоднородностью, структурированностью, функционированием и развитием системы) . . . . .	267
8.4. Факторы, определяющие поведение систем . . . . .	270
Контрольные вопросы и задания . . . . .	309
<i>Глава 9. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ СЛОЖНОСТИ . . . . .</i>	<i>310</i>
9.1. Формирование понятия сложности. Спектр сложностей. . . . .	310
9.2. Классификации видов сложности . . . . .	311
Контрольные вопросы . . . . .	319
Заключение . . . . .	320
Литература . . . . .	321

Цель образования состоит в том, чтобы помочь человеку раскрыть его потенциал, — не только для того, чтобы он стал полезным членом общества, в котором живет, но и для его собственного удовлетворения от реализации своих индивидуальных способностей и талантов.

Многообразие специфических потребностей общества и разнообразие индивидуальных способностей личностей согласуются за счет специализации высшего (и отчасти среднего) образования применительно к профессиям, концентрируя внимание и время обучающихся на освоении специальных сведений, необходимых для осуществления конкретной профессиональной деятельности.

Однако разделение человеческой деятельности на профессии с их глубокой специализацией не отменяет того факта, что все мы живем в едином мире, в котором действуют единые закономерности, а мы лишь с разных сторон и с разными намерениями вступаем во взаимодействие с природой, частью которой и сами являемся.

Этот факт приводит к тому, что чем бы мы ни занимались, мы должны поступать в согласии с природными закономерностями, если желаем достичь успеха. Всеобщее единство природы (и нас в ней) нашло свое отражение в понятии *системности* всего сущего.

Осознание системности своей деятельности пришло профессионалам через опыт успехов и неудач при решении проблем. И в рамках обучения даже самой узкой специальности есть раздел, излагающий конкретные предосторожности и правила работы, способствующие успеху. Неудивительно, что было обнаружено (хотя об одном и том же можно говорить по-разному), что технология успешного решения проблем, т.е. набор рекомендуемых и запретных операций, из которых состоит продвижение от постановки проблемы к ее решению, — имеет универсальный характер. Профессиональная специфика состоит в том, из каких областей потребуются знания для решения данной проблемы, а вот что и как надо делать с этими знаниями, — является общим для всех.

Осознание этого в образовании выразилось во введении в учебные планы многих специальностей курсов «Теория систем», «Системный анализ», «Системотехника» и т.п. Правда, это произошло пока не на всех специальностях и иногда остается сильно

привязанным к специфике профессии (например, «Методология историографии», «Методы инженерного творчества», «Общая патология человека»). Создано большое число учебников, учебных пособий и методических материалов по отдельным курсам.

Представляется целесообразным дополнить этот арсенал системных знаний изложением их в междисциплинарном и наддисциплинарном варианте, применимом к решению проблем реальной жизни, независимо от профессиональной специфики проблемы. Такой раздел современной системологии получил название «*Прикладной системный анализ*».

В Томском университете такой курс читается более трех десятилетий, сегодня уже на многих факультетах (и технического, и физико-математического, и естественного, и гуманитарного профилей). Курс оказался востребованным в других вузах Томска и других городов, а также на курсах повышения квалификации руководителей организаций, работников органов государственного и муниципального управления и менеджеров фирм разных форм собственности, администраторов коммерческих и некоммерческих организаций. В 2014 году при Международном факультете управления ТГУ начало работать малое предприятие «Консалтинговый центр управленческих технологий», организующий решение любых проблем силами самого заказчика по системной технологии интерактивного проектирования улучшающих вмешательств в проблемную ситуацию.

Первая версия данного учебника, состоявшая из двух частей — теоретической и практической, была опубликована небольшим тиражом издательством Томского университета в 2004 г. В 2010 году издательство «КНОРУС» выпустило массовым тиражом обновленный вариант. А настоящее издание книги дополнено еще третьей частью, содержащей обзор основных результатов системологии XX в. Новые знания о природе систем, в особенности — систем социальных, предоставляют дополнительные возможности решения проблем, повышают вероятность успешности управленческих решений, разработанных на основе более полных знаний об управляемой системе и ее окружении.

Я глубоко благодарен УМО по направлению «Менеджмент», присвоившему учебнику гриф, и издательству «КНОРУС», публикующему его, за поддержку распространения идей прикладного системного анализа, столь востребованных в нашем обществе.

В подготовке книги к публикации большую помощь оказала мне моя супруга Лариса Петровна. Большое ей спасибо.

*Автор*

## ВВЕДЕНИЕ. КАК ВОЗНИК СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

---

Пожалуй, каждый согласится, что любая деятельность человека, какой бы профессиональный характер она ни носила, состоит в решении постоянно и последовательно возникающих перед человеком *проблем*. Проблемы встречаются мелкие и масштабные, сравнительно легкие и трудные, очень непохожие, требующие использования научных и практических сведений из самых разных областей знания.

Бросается в глаза, что одни люди чаще удачно решают проблемы, а другие испытывают при этом трудности, терпят неудачи. Естественное стремление к успеху побуждает выяснить, чем же отличаются действия тех и других. Возникает потребность накопления и обобщения опыта решения проблем, как положительного, так и отрицательного, чтобы в дальнейшем не повторять неправильных действий и использовать удачные приемы.

Всегда находятся специалисты, стремящиеся удовлетворить общественную потребность: началось и изучение опыта решения проблем. Однако при этом произошло то, что можно назвать «историческим недоразумением». Для решения любой проблемы необходимо использовать знания, часто глубоко профессиональные, причем набор нужных профессий для каждой проблемы специфичен, уникален. Это создало стойкое впечатление, что хотя проблемы есть у всех, но проблемы врача очень сильно отличаются от проблем инженера, проблемы естествоиспытателя далеко не те же, что проблемы военачальника, и т.д. и т.п. На первый план вышла специфика проблем. Поэтому накопление и обобщение опыта решения проблем началось в рамках каждой профессии отдельно. В каждой специальности возникли такие разделы, в большинстве профессий они оформились как целые дисциплины. Сначала у военных, а затем у экономистов возникло «Исследование операций», у медиков — «Общая патология человека» и «Искусство диагностики», у инженеров — «Системотехника» и «Методы инженерного творчества», у обществоведов — «Политология», «Футурология», «Конфликтология», у администраторов — «Системный подход», «Программно-целевое управление», и этот список можно продолжить.

В 50–60-х гг. прошлого века, на волне бума кибернетики и системологии (теперь уже не определить, кто первый сказал

«а»), появилась идея сравнить методы решения проблем в разных профессиях. И обнаружился на первый взгляд странный, а на второй — естественный феномен. Да, для решения конкретной проблемы нужны специальные, иногда очень глубокие профессиональные знания. Но если обратить внимание не на содержательную специфику данной проблемы, а на технологию работы с нею, на последовательность действий и предосторожностей, то оказывается, что вероятность успеха повышается, если следовать одним и тем же советам, независимо от природы проблемы.

Так возникла идея — предложить некий универсальный алгоритм действий по решению проблем, пригодный к применению в любой профессии. Идея эта не покажется дикой, если принять во внимание, что все мы живем в одном и том же мире, подчиняемся общим законам мироздания и лишь с разных сторон вступаем во взаимодействие с ним. Эта всеобщая системность постепенно была осознана всеми, хотя профессионалы все еще вкладывают в свой термин «системный анализ» явно выраженный профессиональный смысл, описывая проблемы своей специальности.

За несколько десятилетий идея формирования общеупотребительной методики решения проблем была доведена до создания специальной технологии, которую стали (в отличие от конкретных «системных анализов») называть **прикладной системный анализ**. Эта область знаний уже стала профессией: в ряде университетов мира готовят системных аналитиков; существуют десятки фирм, принимающих заказы на решение любых проблем от любых клиентов; в Вене давно существует Международный институт прикладного системного анализа, работающий над глобальными и межнациональными проблемами; многие вузы курс прикладного системного анализа включают в учебные планы разных факультетов, как физико-математических, так и естественных, и гуманитарных.

Технологию прикладного системного анализа можно сравнить с чемоданчиком слесаря, содержащим набор инструментов и приспособлений, которыми мастер пользуется при устранении очередной аварии. Кроме самих инструментов, мастер использует знания, которые необходимо применять в определенной последовательности. Аналогично, чтобы использовать технологию прикладного системного анализа, необходимо понять и принять его методологию, усвоить системный взгляд на окружающую действительность. Поэтому весь курс состоит из двух частей: 1) системное мышление: методология прикладного системного анализа;



2) системная практика: технология прикладного системного анализа.

В первой части изучаются четыре основных понятия, на которых зиждется все здание этой дисциплины. А именно: 1) понятие проблемы (как мы оцениваем воспринимаемую действительность); 2) понятие системы (как устроена действительность); 3) понятие модели (как мы познаем действительность); 4) понятие управления (как мы изменяем действительность). Их достаточно для логичного, обоснованного изложения и осознанного использования технологии системного анализа.

Важная особенность прикладного системного анализа состоит в учете различия между проблемами осознанно формализованными (вплоть до построения математических моделей) и слабо структурированными, рыхлыми проблемами, излагаемыми в терминах разговорного или описательного профессионального языка. Соответственно в системном анализе используются разные («жесткая» и «мягкая») методики. При этом созданы методы постепенного развития, продвижения нашего описания рассматриваемой проблемы от ее «мягкого» облика к наиболее «жесткому» варианту, доступному в заданных условиях.

Прикладной системный анализ отличается от других наук рядом особенностей.

Во-первых, он нацелен не на отыскание общих закономерностей, а на решение конкретной проблемы с ее уникальной спецификой.

Во-вторых, для решения проблемы могут понадобиться знания из любой профессии, поэтому прикладной системный анализ имеет универсальный, наддисциплинарный и междисциплинарный характер.

В-третьих, споры о том, в какой степени прикладной системный анализ может считаться наукой, завершились пониманием того, что для решения проблем реальной жизни необходим некий сплав науки, искусства и ремесла. Пропорции между ними для каждой проблемы специфичны.

В-четвертых, системный анализ выполняется не системным аналитиком, а самими участниками проблемной ситуации. Аналитик знает технологию, т.е. какие вопросы и в каком порядке задавать, а ответы на них знают только сами вовлеченные в ситуацию субъекты. Так что продукт системного анализа производится не профессионалом-специалистом, а коллективом участников ситуации под ненавязчивым руководством аналитика.

**Контрольные вопросы и задания**

1. Почему накопление и обобщение опыта решения проблем началось (и продолжается) в рамках каждой отдельной профессии?
2. Почему, несмотря на громадное разнообразие проблем, технология (совокупность приемов) их решения практически одинакова в случае успеха и различается в случае неудач?
3. Сформулируйте основные отличия прикладного системного анализа от традиционных наук.
4. Почему прикладной системный анализ можно назвать наддисциплинарной и междисциплинарной областью деятельности как в теоретической, так и в практической его сфере?

## **ЧАСТЬ I**

# **СИСТЕМНОЕ МЫШЛЕНИЕ: МЕТОДОЛОГИЯ ПРИКЛАДНОГО СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА**

## ПРОБЛЕМА И СПОСОБЫ ЕЕ РЕШЕНИЯ

Прежде чем обсуждать способы решения проблем, необходимо дать определение самого понятия проблемы. Оно опирается на исходное понятие проблемной ситуации.

*Проблемная ситуация* — это некоторое реальное стечение обстоятельств, положение вещей, которым кто-то недоволен, неудовлетворен и хотел бы изменить. Это определение иллюстрируется рис. 1.1. Теперь конкретизируем понятие проблемы. *Проблема* — это субъективное отрицательное отношение субъекта к реальности.



Рис. 1.1

Обратим внимание на три момента. Первый: наше определение действительно подходит к любой проблеме, независимо от ее происхождения. Тем самым мы начали выполнять обещание построить универсальную методику обращения с проблемами. Второй: в понятиях проблемы и проблемной ситуации неразрывно связаны два аспекта — объективный (наличие реальной ситуации) и субъективный (негативная оценка реальности субъектом). Отличие этих понятий в том, на чем делается акцент: «проблемная» ситуация выделяет объективный компонент (реальность), «проблема» — субъективный (недовольство). Третий: нет проблем вокруг нас; проблема — особое состояние психики субъекта.

Что значит «решить проблему»? Из определения становится ясным, что для этого следует сделать что угодно, лишь бы *уменьшить или совсем снять недовольство субъекта*. В дальнейшем такого субъекта будем называть «клиентом», а лицо, занимающееся решением его проблемы, — «системным аналитиком».

### 1.1. Варианты решения проблем

Оказывается, существует целый ряд возможностей решения проблем. Какую или какие из них применить в конкретном случае — будет решать тот, кто проблемой занимается. А пока постараемся обсудить, каковы же все возможные варианты. Они естественно разбиваются на две группы: 1) воздействовать на субъект с целью уменьшить его недовольство, не изменяя реальности; 2) изменить реальность так, чтобы недовольство субъекта ослабло. Рассмотрим каждую из групп.

### 1.2. Способы влияния на субъект

Есть три возможности изменить к лучшему отношение субъекта к реальности, не изменяя самой реальности.

Во-первых, чем недоволен субъект? Тем, что ему известно о ситуации. Но ведь он знает не все! И среди того, что он не знает, вполне может оказаться информация позитивного характера. Если ее сообщить субъекту, его недовольство уменьшится. Примеров этому много, но особого внимания заслуживает случай, когда этот вариант осуществляется в виде *обучения* субъекта. В этом случае причиной неудовлетворенности является именно нехватка информации, и ее получение в ходе обучения приводит к решению проблемы. Интересно, что при ознакомлении с несколькими американскими фирмами, практикующими системный анализ, обнаружилось, что около 90% проблем их клиентов решалось именно через подготовку, переподготовку и повышение квалификации персонала фирмы клиента. Впрочем, это следует из субъективного аспекта проблемы. Ярким примером является эпизод из Булгакова: «Разруха начинается не в визгаемых подъездах, разруха начинается в головах у жильцов».

Стоит отметить еще одну особенность данной возможности. Дополнительная информация, сообщаемая клиенту, обязательно должна быть положительной, но не обязательно правдивой. Встречаются случаи, когда проблема разрешается с помощью ложной информации. Каждый может вспомнить эпизод из своей жизни, когда он говорил неправду. И если признаться себе, почему был предпочтен обман правде, то выяснится, что с помощью лжи в тех условиях удавалось гораздо легче, проще, быстрее достичь поставленной цели, нежели с помощью правды. Это не оправдание, и тем более не пропаганда лжи, а лишь констатация факта, что лжи бы не было, если бы она не была полезной. Во всех языках есть понятия, аналогичные русскому «ложь во спасение», «святая ложь»...

Еще один вариант манипулирования информацией — сокрытие правды, либо отфильтрованная полуправда. Например, на одной голландской птицеферме удалось существенно поднять продуктивность производства мяса за счет постановки курам глазных линз с затемненной верхней частью. Дело в том, что у кур существует иерархия: чем больше у птицы гребень, тем выше она в иерархии. А во время кормления «старшие» отгоняют «младших» от кормушки. Линзы не позволяют разглядеть, у кого какой гребешок; споры прекратились, питание перестало «дозироваться», резко возрос прирост всех птиц.

Следующая возможность решения проблемы без изменения реальности состоит в том, чтобы изменить восприятие данной реальности субъектом. Поскольку оценка субъектом своих взаимоотношений с окружающей средой является психическим явлением, то существует возможность воздействия на психику субъекта в нужном направлении. Формы воздействия могут быть разными: психические (гипноз, внушение, пропаганда, реклама и т.д.); физические (воздействие различных полей — акустических, электрических, магнитных); химические (психотропные медикаменты, наркотики, алкоголь). Подчеркнем, что мы не оцениваем, что хорошо, а что плохо; мы лишь констатируем наличие фактических возможностей.

Третья возможность решения проблемы без изменения самой проблемной ситуации основана на том, что проблема возникла в результате взаимодействия субъекта с ситуацией. Поэтому иногда проблему можно решить, прервав это взаимодействие. Здесь тоже есть целый спектр вариантов: от приятных для проблемоносителя (повышение по службе, направление на учебу или в отпуск), с помощью более или менее нейтральных (перевод в другое подразделение, ротация), до болезненных (увольнение и т.п.) и даже до крайне жестокого, осуждаемого, но, к сожалению, существующего («Есть человек — есть проблема, нет человека — нет проблемы» — высказывание, приписываемое Сталину).

### **1.3. Вмешательство в реальность**

Обратимся теперь ко второй группе возможностей решения проблемы — через вмешательство в саму проблемную ситуацию. Естественно, вмешательство должно так изменять ситуацию, чтобы недовольство клиента уменьшилось или вообще исчезло.

Однако при этом приходится сталкиваться с весьма существенным обстоятельством, которое, по сути, и дало толчок для

детальной разработки технологии прикладного системного анализа. Дело в том, что в реальной (проблемной для нашего клиента) ситуации участвуют не только наш проблемноноситель, но и многие другие субъекты, которые оценивают эту же ситуацию со своих позиций. Для них она может и не быть проблемной, либо их проблемы отличаются от проблемы клиента (рис. 1.2).



Рис. 1.2

Всякое изменение ситуации в результате нашего вмешательства в нее будет замечено и оценено всеми ее участниками, и во все не обязательно оно будет одобрено всеми.

Возникает принципиально важный вопрос: как следует действовать в связи с этим обстоятельством?

Чтобы ответить на этот вопрос, обратимся к принципиальному, кардинальному отличию между объектом и субъектом. Субъект, будучи одновременно физическим объектом, существует в реальной физической среде и, как всякий объект, подвержен воздействиям этой среды. В отличие от объекта, субъект не только подчинен природным закономерностям, но и наделен способностью *оценивать* свои взаимодействия со средой: что-то ему может нравиться, а может и не нравиться. Вот тут-то и заложена индивидуальность субъекта. Впоследствии (в главе о моделях) мы обсудим причины этого, а пока подчеркнем, что оценки имеют сугубо индивидуальный, субъективный характер; объективных оценок не может быть. В итоге одна и та же реальность оценивается разными субъектами по-разному.

В этой связи полезным может оказаться следующий совет.

*Всякий раз, когда в вашем присутствии прозвучит любое оценочное слово (хорошо — плохо, полезно — вредно, правильно — неправильно и т.п.), насторожьтесь и задайте вопрос: «В каком смыс-*

ле?» Суть совета в том, что оценки не бывают объективными. Оценки всегда субъективны, и если вы хотите понять истинный смысл сказанного, надо выяснить, какие критерии применяет оценивающий; одно и то же разные субъекты могут оценивать по-разному.

Вернемся теперь к нашему вопросу о том, как же надо действовать, решая проблему клиента при наличии других участников ситуации с неизбежно отличающимися интересами. Ответ: надо действовать правильно. Слово «правильно» — оценочное, отсюда вопрос, что под этим понимать.

#### 1.4. Три типа идеологий

*Правильным* считается поведение, максимально согласующееся с принятой субъектом идеологией. Именно идеология и определяет, что плохо, а что хорошо, что правильно, а что неправильно.

Выясняется, что идеологии могут быть разными. Выбор каждым «своей» идеологии есть комплексный результат личного выбора, воздействия воспитания, культуры, обстоятельств. Идеологи приводят большое количество аргументов в пользу именно своей идеологии, обсуждают ее многие отличия от других учений. Однако можно указать на одну особенность, помогающую различать идеологии между собой. Это определение того, *какое отношение к другим субъектам считать правильным*.

Хотя градаций между идеологиями можно вводить сколько угодно (достаточно сказать, что ныне в России существует несколько десятков партий), по-крупному можно провести явные различия между тремя типами идеологий. И каждая из них ведет к разным подходам к решению реальной проблемы.

Первый тип идеологии назовем условно «принципом приоритета меньшинства». В нашем случае (рис. 1.3) этот принцип приводит к тому, чтобы осуществить вмешательство, угодное клиенту, а интересы других участников не принимаются во внимание. Кому-то из них это может понравиться, кому-то — нет, это нас не интересует. Можно привести жизненные примеры реализации такой идеологии (диктатура, единоначалие, иерархическая организация, эгоизм, себялюбие и т.д.). Можно даже явно признать то, что в некоторых обстоятельствах такая идеология дает наибольший шанс на выживание (армия, война, чрезвычайная ситуация и пр.).

Необходимо, однако, иметь в виду, что с реализацией этой идеологии связан ряд особенностей, которые неизбежно придет-



ся учитывать. Во-первых, осуществление такого подхода к решению проблем «меньшинства» обязательно вызовет недовольство некоторой части остальных участников ситуации, что побудит их к ответным действиям. Отсюда у принявших эту идеологию должна быть сила для подавления недовольных и готовность применять эту силу.

Вторая идеология может быть названа «принципом приоритета группы». Согласно ей среди участников ситуации, кроме клиента, есть другие субъекты, не менее важные и ценные, чем клиент (на рис. 1.3 — поле 2).

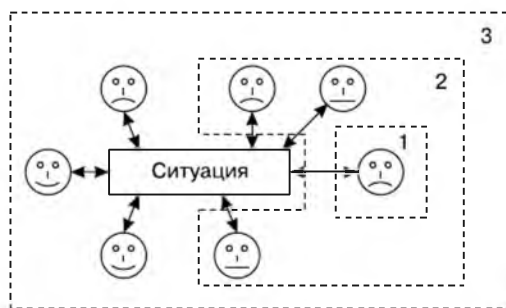


Рис. 1.3

Поэтому теперь вмешательство должно проводиться с учетом интересов всех «наших». Это, с одной стороны, осложняет проектирование вмешательства, но с другой, открывает возможность использования ресурсов не только клиента, но и остальных членов нашей группы. Известно множество примеров реальной практики данной идеологии (расизм, национализм, фашизм, коммунизм, любая групповая деятельность, в том числе партийная, профсоюзная, спортивная и т.п.). Подчеркнем, что здесь мы не ставим задачу давать оценку такой идеологии: для принявших ее она является единственно правильной, для противников — неприемлемой. Однако нелишне отметить некоторые неотъемлемые особенности этой идеологии, которые латентно встроены в нее и в соответствующих условиях могут проявиться негативно. Прежде всего это двойная мораль: деля всех на «своих» и «чужих», она позволяет к ним относиться по-разному. В классовом варианте «не наши» вообще рассматриваются как враги, что ведет к агрессивности, наращиванию силовых структур. Еще одна слабость этой идеологии состоит

в том, что возникает противоречие между провозглашаемым равенством, демократией внутри группы и необходимостью организации групповой деятельности, т.е. создания иерархических структур с их принципиальным неравенством. Разные группы разрешают это противоречие по-разному, истории известны удачные и трагичные варианты.

А теперь — хорошая новость: прикладной системный анализ придерживается третьей идеологии (на рис. 1.3 — поле 3). Ее можно назвать «принципом приоритета каждого». В основе ее лежат два постулата:

- нет ни одного одинакового субъекта, все они различны;
- несмотря на различия, все субъекты равноценны и равноправны.

Отсюда следует, что неправильно, аморально решать проблемы одних за счет других. Правильным, моральным признается только улучшающее вмешательство.

*Улучшающее вмешательство* — это такое изменение проблемной ситуации, которое положительно оценивается хотя бы одним из ее участников и неотрицательно — всеми остальными.

Естественно, наш клиент должен быть среди положительно расценивающих предложенное вмешательство.

В связи со сказанным прикладной системный анализ можно назвать *теорией и практикой проектирования и реализации улучшающих вмешательств*. А поскольку при этом не возникает нового недовольства ни у одного из участников ситуации, еще одно определение прикладного системного анализа можно сформулировать как *методику решения проблем реальной жизни без создания новых проблем*.

### 1.5. Осуществимо ли улучшающее вмешательство

Опыт чтения данного курса показывает, что при оглашении определения улучшающего вмешательства в аудитории обязательно обнаруживаются скептики (и чем старше аудитория, тем их больше), считающие сказанное пусть красивой, но недостижимой целью. Для скепсиса есть немало оснований. Обсудим главные из них.

«Сделать так, чтобы всем было хорошо, — невозможно». Это подмена тезиса: улучшающее вмешательство — это не когда «всем хорошо», а когда *никому не хуже*, а это далеко не одно и то же.

«Опыт показывает, что решение любой сложной проблемы невозможно без создания новых проблем». В реальности так часто

бывает. Но это является лишь следствием того, что не соблюдалась системная технология. Наглядным примером этого может служить кампания борьбы с алкоголизмом, проведенная в советское время. Чем кончилось это дело — всем известно. Можно указать на принципиальные ошибки, содержащиеся в исходном Постановлении ЦК КПСС и СМ СССР. Оно даже приблизительно не отвечало понятию улучшающего вмешательства: грубо поправны были права потребителей, в том числе алкоголиков; проведено разрушение тысячелетней культуры виноградарства и виноделия; бюджет страны лишился существенной доли поступлений и т.д. Поэтому негативный опыт решения проблем связан не с невозможностью их успешного решения, а с несоблюдением требований их системного решения.

«Очень часто неудачи в решении проблем связаны с нехваткой ресурсов и с ошибками при принятии решений». Поэтому имеет важный смысл рассматривать улучшающее вмешательство как идеал, к которому следует стремиться, даже если он окажется не полностью достижимым. «Улучшающее вмешательство часто трудно найти, но редко невозможно» (Р. Акофф). Прикладной системный анализ предлагает методику движения к цели, хотя практика этого движения может наталкиваться на нехватку информации, совершение ошибок, недостаточность ресурсов, дефицит времени. Важно двигаться в правильном направлении, насколько возможно.

Пожалуй, самым серьезным основанием для сомнений в реализуемости улучшающих вмешательств является противоречивость интересов участников проблемной ситуации, иногда доходящая до конфликтности. Как можно осуществить улучшающее вмешательство, когда кто-то испытывает недовольство только от того, что кому-то стало хорошо? Или когда каждый стремится доказать и утвердить свою правоту, а их позиции различны или даже несовместимы?

Существует несколько возможностей двигаться к улучшающему вмешательству даже в таких условиях. Иногда невмешательство является адекватным поведением (см. ниже). Различные варианты разрешения конфликтов рассматриваются обособленной дисциплиной — конфликтологией. А собственно в системном анализе предлагается отказаться от выяснения «кто прав?» и перейти к поиску, созданию «общего согласия», предпочесть своей правоте общий мир и эффективность («улучшающее вмешательство»).

### 1.6. Четыре типа вмешательств

Возвращаясь к способам решения проблем, интересно рассмотреть классификацию, предложенную Р. Акоффом. Он заметил, что несмотря на колоссальное разнообразие, непохожесть проблем, способов их решения всего четыре. Их названия в английском варианте обладают красотой, несохранимой при переводе, поэтому дадим оба варианта.

**1. ABSOLUTION.** Этим термином в английском языке обозначаются действия священника, отпускающего грехи прихожанам: он выслушивает исповедь и — ничего не делает. В профессиональном языке системного анализа этим термином обозначено *невмешательство*. Обратите внимание: при этом никому не становится хуже. Но отдавать невмешательству предпочтение следует, только если любые предлагаемые вмешательства приведут к худшим результатам. Примеры: действия врача при сложности диагностики (плацебо), поведение сапера при обнаружении неизвестного ему взрывного устройства, невмешательство в семейную проблему ваших друзей.

**2. RESOLUTION.** Р. Акофф предложил обозначить этим термином такой тип вмешательства, при котором проблема решается частично, не лучшим, но приемлемым образом. Есть несколько возможностей сделать это.

Первая — использовать недостаточные для полного решения проблемы ресурсы для смягчения недовольства, решив этим проблему частично. Наглядным примером этого служат некоторое повышение заработных плат, пенсий и стипендий сотрудникам бюджетной сферы на фоне галопирующей инфляции; распределение ограниченных ресурсов по жребью, по очереди или поровну.

Вторая возможность — попытаться вернуться к тому состоянию, когда проблемы не было: определить, чем вызвана проблема, и устранить эту причину; найти виновного и наказать его. Такое (увы, распространенное) решение является неполным, частичным, устаревшим: любое событие в мире является следствием многих причин, и устранение одной из них заведомо неполно. Другой пример такого подхода — повторить действие, давшее ранее в аналогичном случае успех. Но это связано с риском недостаточной похожести обстоятельств, что может привести к неожиданным результатам.

**3. SOLUTION.** В профессиональном языке системного анализа это слово является термином, обозначающим наилучшее в данных условиях вмешательство. Соответствующий научный

термин «оптимальный» уже вошел в разговорный язык и общественное сознание, поэтому важно понимать и применять его правильно. *Оптимальный значит наилучший при заданных ограничениях.* При всей кажущейся простоте этого определения, оно требует пояснений.

Во-первых, что значит «наилучший»? Одни и те же объекты могут упорядочиваться по-разному, в зависимости от того, какое качество рассматривать. *Критерий*, оценивающий данное качество, позволяет найти наилучшую (по этому качеству) альтернативу.

Возникает совсем не тривиальный вопрос: а как выбрать наилучший вариант, если альтернативы сравниваются не по одному, а по совокупности нескольких критериев? Сочтем (как потом выяснится — ошибочно) этот вопрос чисто техническим и рассмотрим его в разделе «Выбор» второй части курса. А пока для нас принципиальным является то, что прежде, чем говорить об оптимальности, необходимо указать, задать, определить, по какому критерию (или критериям) будут упорядочиваться сравниваемые варианты, т.е. в каком смысле мы будем употреблять термин «наилучший».

Однако этого еще вовсе не достаточно для оптимальности. Второй, не менее важной, неотъемлемой частью понятия оптимальности является зависимость результата выбора от конкретных ограничений в данной ситуации. При одном и том же критерии качества выбор из одного и того же множества альтернатив при различных ограничениях в общем случае будет различным. Поэтому сравнивать между собой по выбранному критерию качества имеет смысл только те альтернативы, которые удовлетворяют наложенным ограничениям: лучшая в смысле критерия альтернатива, не отвечающая ограничению, не может быть реализована.

Стремление делать все как можно лучше настолько естественно для людей, что неудивительно, как быстро абстрактное понятие оптимальности из науки перешло в деловой и даже в бытовой обиход. Хотя широкая популярность идеи оптимальности, по-видимому, является следствием большой моды на кибернетику в 1950–1980-х гг., мало кто, кроме специалистов, обратил внимание на предупреждение отца кибернетики Н. Винера о необходимости осторожного использования этого понятия.

Дело в том, что вмешательство в проблемную ситуацию основано на той информации об этой ситуации, которой мы распо-

лагаем. А степень изученности нашей ситуации может быть разной. Есть проблемы хорошо структурированные, допускающие построение количественных математических моделей, например, многие инженерные и научные проблемы (такие проблемы называются «жесткими», «твердыми» — *hard problems*). Но многие проблемы реальной жизни описываются на языках, далеких от математики, — от житейских проблем, описываемых на разговорном языке, до профессиональных, которыми занимаются, например, многие гуманитарии и естествоиспытатели (такие проблемы называют «рыхлыми», «мягкими» — *soft problems*). Эти различия, естественно, учитываются и в ряде деталей технологии решения проблем, что позволяет говорить о «жесткой» и «мягкой» технологиях прикладного системного анализа.

На примере оптимальности можно еще раз подчеркнуть разницу между «твердой» и «мягкой» методологиями системного анализа. Обе составляющие оптимальности (критерии и ограничения) чувствительны к этой разнице. Само требование, чтобы критерии качества и ограничения выражались количественно, уже означает, что рассматриваемая ситуация настолько хорошо изучена, что допускает построение ее математического описания. А задача оптимизации есть формальная математическая задача, вполне адекватная проблемам «твердого» типа (и курс методов оптимизации является одним из самых больших и хитроумных математических предметов в университете).

Но уже в рамках формальных математических моделей обнаружилась «хрупкость» оптимальных решений: часто даже при небольших отклонениях от предположений в постановке задачи качество ее решения может меняться очень резко. Так что рассмотрение проблем устойчивости решений составляет важный раздел теории оптимизации.

При переходе к «мягким» проблемам ситуация сильно усложняется. И дело не только в том, что для таких проблем труднее (если вообще возможно) подобрать количественные меры для критериев и ограничений. Главное в том, что «мягкость» проблемы есть следствие ее малой изученности; в частности, отсутствует возможность перечислить все важные ограничения, а это, как мы видели, кардинально влияет на качество выбора. Поэтому оптимальность в этом случае следует считать недостижимым идеалом, к которому все же стоит стремиться. Конструктивно же попытки оптимизации надо рассматривать лишь как элемент метода проб и ошибок, обсуждаемого в конце данной части.

4. DISSOLUTION («растворение»). Этим термином обозначено вмешательство, заканчивающееся полным исчезновением проблемы и появлением новых проблем. Казалось бы, что может быть лучше оптимального? Существенное отличие между третьим и четвертым способами состоит в том, что оптимальный — это наилучший в данных условиях, а «растворение» рассматривает ограничения и условия не как неизменно фиксированные, а как подлежащие изменениям с целью поиска новых, недопустимых ранее вариантов, среди которых могут оказаться гораздо более эффективные, чем ранее оптимальные.

Важным вариантом «растворения» проблемы является ее предупреждение, принятие мер к тому, чтобы она не появилась. Здесь изменение системы производится не *после* появления проблемы с целью ее разрешения, а *до* того — с целью ее предотвращения.

Наглядной аналогией является произошедшее изменение системы пожарной охраны. В прошлом эта система в основном состояла из бойцов-пожарных, бравых, экзотично одетых, несущихся по улице на своих машинах с мигалками и сиренами, чтобы бороться с огнем, героически спасать жизни людей и их достояние. В нынешней системе большинство служащих — пожарные инспекторы. Они без светозвуковых эффектов регулярно проверяют подведомственные им здания с целью *предотвратить* пожары. Они предписывают улучшающие изменения объектов и процессов, снижающие вероятность возгораний и возможный урон от них. И эта деятельность не менее — если не более! — важна, чем тушение пожаров.

И подобным образом в дальновидных организациях вводят в штат специальных работников, обязанностью которых является превентивная инспекция всех компонентов организации, раннего обнаружения опасных ситуаций и тенденций. Иногда таких сотрудников называют «внутренними аудиторами», «думающими инженерами», «контролерами» и т.п. Пока эта функция реализуется лишь в форме внутреннего аудита. Пробелом в организациях является отсутствие лиц, ответственных за реализацию превентивного улучшающего вмешательства. Эта обязанность возлагается на руководителей, которые и без того загружены управлением текущей деятельностью своего подразделения.

Р. Акофф привел живой пример применения всех четырех методов к решению одной реальной проблемы.

В автобусной компании крупного города возникла проблема: после введения надбавок за качество работы начались конфликты

между водителями и кондукторами. Дело в том, что качество работы водителей оценивалось по точности соблюдения графика движения, а кондукторов — по тому, насколько качественно они обслуживают пассажиров. В часы пик кондукторы задерживали сигнал отправки (им надо было проверять у выходящих не только наличие билета, но и правильность оплаты, зависящей от расстояния, а входящим — продать билеты, каждому до его станции назначения), а это отрицательно сказывалось на надбавке водителей.

Сначала руководство компании игнорировало проблему (ABSOLUTION), ожидая, что все утрясется само собой. Но проблема продолжала обостряться, в конфликт были вовлечены профсоюзы. Тогда руководство попыталось вернуться к старой системе оплаты (RESOLUTION), однако оба профсоюза запротестовали, так как это означало бы отмену надбавок. Затем руководство предложило профсоюзам самим договориться о разделе фонда доплат (SOLUTION), но те не желали сотрудничать между собой.

Проблема была «растворена» (DISSOLUTION) приглашенным системным аналитиком, обнаружившим, что в часы пик число автобусов на линии (регулируемое в течение дня) превышает число остановок. На эти часы кондукторов стали снимать с автобусов и закреплять за остановками. Они продавали билеты еще до прихода автобуса, успевали проверить билеты у выходящих и стали вовремя подавать сигнал отправления. По окончании часа пик кондукторы возвращались в автобусы, а лишние автобусы снимались с линии. К тому же компании потребовалось меньшее количество кондукторов.

Этот интересный пример не должен создавать впечатления, будто четыре типа решений расположены в порядке абсолютного предпочтения: в данном случае «растворение» (снятие ограничения) оказалось лучшим из них, но в других проблемах лучшим может оказаться любое другое.

Более того, предпочтение того или иного типа вмешательства существенно зависит от ментальной ориентации менеджера. Р. Акофф предложил различать четыре типа менеджеров, осуществляющих планирование и принятие решений<sup>1</sup>.

*Реактивный (reactive) менеджмент* — недоволен существующим положением и тем, куда все идет; предпочитает то, что было в прошлом; управляющие усилия направлены на возврат

---

<sup>1</sup> См.: Акофф Р.Л. Менеджмент в XXI веке. Преобразование корпорации / пер. с англ. Ф.П. Тарасенко. Томск: издательство Томского государственного университета, 2006.



к предыдущему состоянию за счет устранения причин происходящих перемен. Предпочитаемый тип решения проблем — *resolution*, используемые методы — прошлый опыт, здравый смысл, качественные оценки, выбор «достаточно хорошего», «приемлемого» решения. Примером удовлетворительного применения такого подхода является клиническая практика врачевания, но и при этом случаются фатальные неудачи. В менеджменте такой подход связан с авторитарным управлением, планированием «сверху — вниз», направленным на решение отдельных проблем, устранение нежелательного без учета его связи с остальными компонентами ситуации (что часто приводит к появлению еще более нежелательного).

*Пассивный (inactive) менеджмент* — удовлетворен настоящим, не желает ни возврата к прошлому, ни будущих перемен; препятствует изменениям, ценит стабильность; считает, что если ничего не делать, то ничего и не случится, и это хорошо; что действовать надо тогда, когда возникнет угроза, кризис. При этом в отличие от реактивистов, пытающихся устранить причины, инактивисты занимаются подавлением симптомов («антикризисное управление»). Предпочитаемый тип решения проблем — «*absolution*», игнорирование или отрицание проблемы, надежда на то, что она исчезнет или решится сама собой.

*Превентивный (preactive) менеджмент* — убежден, что будущее будет лучше, чем прошлое и настоящее, поэтому старается ускорить перемены, использовать возможности, связанные с ними. Важным становится прогнозирование будущего, способность обучаться и адаптироваться к изменениям среды, планирование, создание изменений. Предпочитаемый тип решения проблем — «*solution*», поиск решения оптимального, т.е. наилучшего в заданных условиях. Технологии преимущественно количественные — методы оптимизации, исследование операций, математическое (чаще — линейное) программирование, анализ рисков, баланс затрат и доходов и т.п.

*Интерактивный (interactive) менеджмент* — не только не желает возврата к прошлому и восприятия настоящего, но и принятия надвигающегося будущего. Он уверен, что будущее можно создавать самим, направленными на это усилиями. Предпочитаемый тип решения проблемы — *dissolution*, осуществление изменений в системе и (или) ее среде, приводящих к исчезновению, «растворению» проблемы. Технология этого — идеализированное проектирование.

### 1.7. Еще о прикладном системном анализе

Данная глава преследует две цели: конкретизировать понятие проблемы и способов ее решения и, кроме того, дать общее представление о самом прикладном системном анализе. Первую цель будем считать достигнутой в нужной нам степени. Для достижения второй цели следует обсудить еще две особенности прикладного системного анализа, которые пока не было повода упомянуть.

Рассмотрим типовую последовательность действий во времени в ходе системного анализа (рис. 1.4).

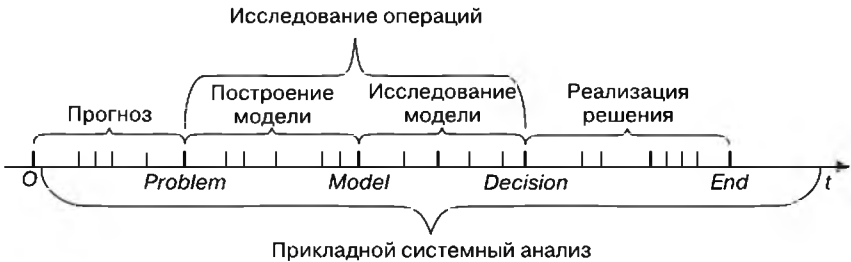


Рис. 1.4

В момент *P (Problem)* клиент обращается к системному аналитику со своей проблемой, которую он не смог решить самостоятельно. После подписания контракта, накладывающего ряд обязательств на обе стороны (каких конкретно, мы обсудим позже), начинается работа в соответствии с технологией (описываемой во второй части книги). После ряда операций наступает момент *M (Model)*, когда мы получаем достаточно адекватную модель (точный смысл этих терминов будет дан позже) проблемной ситуации. Теперь наступает период проигрывания на модели результатов тех или иных вмешательств. В конце этого периода делается (обычно многокритериальный) выбор наиболее приемлемого варианта *D (Decision)*. От принятия решения до его воплощения в жизнь — путь непростой, тоже требующий довольно жесткого соблюдения технологии (в современном языке этот период называется менеджментом). При старании и везении мы можем достичь момента *End*, когда проблема оказывается решенной. Более детальное описание операций по выполнению каждого этапа, с постоянной заботой о максимизации вероятности успеха при наличии ловушек, возможности ошибаться, ограниченности ресурсов, дефиците времени, неполноте и неточности информации — все это будет предметом второй части курса. А пока обратим внимание на еще две особенности прикладного системного анализа.

Первая вытекает из того факта, что был в прошлом момент *O* (рис. 1.4), когда проблемы вообще не было. И если бы тогда клиент обратился к системному аналитику, можно было бы подвергнуть анализу ход будущего и предсказать появление проблемы при сохранении стиля и тактики фирмы. Но была бы также возможность спроектировать вмешательство, результатом которого стало бы предотвращение появления проблемы. Это отражено в слегка юмористическом высказывании: «Самый лучший системный анализ — тот, который не сбывается». Поэтому методика прогнозирования входит в арсенал прикладного системного анализа. Пока эта функция реализуется в организациях лишь в форме внутреннего аудита. Фактом, однако, является то, что чаще всего клиенты обращаются к аналитикам после того, как их собственные попытки решить уже назревшую проблему оказываются неудачными. Вторая, очень важная, принципиальная особенность прикладного системного анализа обозначена на рис. 1.4 охватом сферы анализа за пределом *E (End)* решения проблемы. Этот прием позволяет обсудить вопрос: а что будет после решения проблемы? Конечно, перед бывшим клиентом снова возникнет какая-то проблема. Не в результате решения предыдущей, если мы постарались реализовать улучшающее вмешательство (в принципе не создающее новых проблем), а в случае неизбежных изменений в окружающей среде и в самой системе. И что же, снова обращаться к консалтинговой фирме? В этом не будет необходимости благодаря специфической черте системного анализа.

Дело в том, что процесс решения проблемы не может быть выполнен лишь самим системным аналитиком. Для построения модели проблемной ситуации необходима информация, которой обладают только сами ее участники. Поэтому обязательным элементом технологии является вовлечение их в процесс работы над проблемой. Системный аналитик знает, какие вопросы, в какой форме, в какой последовательности задавать, чтобы на основе полученной информации построить адекватную модель ситуации, а ответы на эти вопросы могут дать только сами участники ситуации. Более того, и воплощать разработанное вмешательство должны будут именно они, а не аналитик.

В итоге процесс системного анализа будут выполнять сами работники фирмы клиента. А выполнение какой-то работы собственными усилиями является самой эффективной формой обучения этой деятельности. Таким образом, в прикладном системном анализе оказывается естественно встроенным, неотъемлемым элементом об-

учение самому системному анализу. В итоге потребность в повторном обращении к консалтинговой фирме существенно ослабляется.

### Контрольные вопросы и задания

1. Поясните различия между понятиями «проблемная ситуация» и «проблема».
2. Что значит «решить проблему»?
3. Какие три способа воздействия на субъект без изменения реальности могут (при определенных условиях) привести к решению его проблемы? Каковы эти условия?
4. Каково основное отличие субъекта от объекта?
5. Как определить смысл оценки, выраженной неким субъектом?
6. Почему при вмешательстве в реальность с целью решения проблемы приходится опираться на какую-то идеологию?
7. Воспроизведите классификацию идеологий на три типа. Каково основное отличие между ними?
8. Целью прикладного системного анализа является создание улучшающего вмешательства. Перечислите не менее трех причин, по которым в действительности это может не получиться.
9. Назовите четыре типа улучшающих вмешательств.
10. Оптимальность обеспечивается только при совокупном соблюдении двух требований. Каковы эти требования?
11. Каков важный результат прикладного системного анализа конкретной проблемы, кроме решения самой проблемы?
12. В данной главе введены специальные понятия (и соответствующие им термины), входящие в профессиональный язык прикладного системного анализа. Часть этих терминов используется и в разговорном языке, но в другом, более расплывчатом, смысле. Другие несут специальную смысловую нагрузку. Проверьте, можете ли вы воспроизвести профессиональные определения для всех перечисленных ниже понятий (если какое-то нет — обязательно найдите такое определение и постарайтесь его запомнить):
  - проблемная ситуация;
  - оценка (чего-то субъектом);
  - проблема;
  - решение проблемы;
  - вмешательство;
  - улучшающее вмешательство;
  - прикладной системный анализ;
  - оптимальность;
  - «твердые» и «мягкие» проблемы.

## ПОНЯТИЕ СИСТЕМЫ

Термин «система» употребляется в очень широком смысле. Мы говорим: Солнечная система, система Станиславского, нервная система, система уравнений, отопительная система, система взглядов и убеждений и т.д. Есть системы, естественно возникшие в природе, есть искусственно созданные человеком, материальные и идеальные. Так в языке нашло отражение нечто общее между любыми проявлениями действительности. Это всеобщее подобие обозначается термином «системность», и нам предстоит конкретизировать его смысл.

Простейшим описанием разнообразия систем является их классификация. Многие особенности системы, которые придется учитывать при работе с ней, связаны с ее происхождением. Этот признак дает следующую классификацию:

- физические системы (например, бассейны рек);
- биологические системы (живые организмы, популяции);
- технические системы (автомобили, электростанции);
- абстрактные системы (философия, математика);
- социальные системы (семья, этнос).

Возможны и другие классификации. Например:

- экологические системы (сочетание физических, биологических, технических и социальных систем);
- организационные системы (группы, государства, партии);
- процессные системы (алгоритмы, технологии, жизненный цикл).

Р. Акофф предлагает классифицировать системы по тому, насколько присущи целеполагание и выбор частям системы и самой системе.

Поскольку конкретное употребление термина связано с конкретной ситуацией и целью его использования, существует множество различных определений системы, от почти бессодержательного («системой является все то, что мы хотим рассматривать как систе-

му») до сугубо специфических определений, даваемых разными — точными, естественными и гуманитарными науками (один философ собрал и опубликовал коллекцию из 45 разных определений!).

Свое определение требуется и для системного анализа. В силу его направленности на решение любых проблем понятие системы в этом случае должно быть очень общим, применимым к любым ситуациям. Выход видится в том, чтобы обозначить, перечислить, описать такие черты, свойства, особенности систем, которые, во-первых, присущи всем системам без исключения, независимо от их искусственного или естественного происхождения, материального или идеального воплощения; а во-вторых, из множества свойств были бы отобраны и включены в список по признаку их необходимости для построения и использования технологии системного анализа. Полученный список свойств можно назвать дескриптивным (описательным) определением системы.

Приступим к обсуждению необходимых нам свойств системы. Они естественно распадаются на три группы (статические, динамические и синтетические), по четыре свойства в каждой.

### 2.1. Статические свойства системы

*Статическими свойствами* назовем особенности конкретного состояния системы. Это как бы то, что можно разглядеть на мгновенной фотографии системы, то, чем обладает система в любой, но фиксированный момент времени.

*Целостность* — первое свойство системы. Всякая система выступает как нечто единое, целое, обособленное, отличающееся от всего остального. Назовем это свойство целостность системы. Оно позволяет весь мир разделить на две части: систему и окружающую среду (рис. 2.1). Понятие целостности в дальнейшем будет расширяться и углубляться, а пока оно обозначает лишь факт внешней различимости системы в среде.



Рис. 2.1

**Открытость** — второе свойство системы. Выделяемая, отличимая от всего остального, система не изолирована от окружающей среды. Наоборот, они связаны и обмениваются между собой любыми видами ресурсов (веществом, энергией, информацией и т.д.). Обозначим эту особенность термином «открытость» системы и обсудим это свойство подробнее.

Отметим, что связи системы со средой имеют направленный характер: по одним среда влияет на систему (их называют *входами* системы), по другим система оказывает влияние на среду, что-то делает в среде, что-то выдает в среду (такие связи называют *выходами* системы) (рис. 2.2). Перечень входов и выходов системы называют *моделью черного ящика*. В этой модели отсутствует информация о внутренних особенностях системы. Несмотря на (кажущуюся) простоту и бедность содержания модели черного ящика, эта модель часто вполне достаточна для работы с системой.



Рис. 2.2

Во многих случаях управления техникой (автомобилем, радиоаппаратурой, компьютером, прибором) или людьми (например, в менеджменте) информация только о входах и выходах управляемой системы позволяет успешно достигать цели. Однако для этого модель должна отвечать определенным требованиям. Вы можете испытывать затруднения, если не знаете, что у некоторых моделей телевизоров кнопку включения надо не нажимать, а вытягивать, или что в некоторых отелях выключатель в темном помещении совмещен с задвижкой, и вообще встретившись с прибором, не все входы которого вам известны. Ясно, что для успешного управления системой модель черного ящика должна содержать всю информацию, необходимую для достижения цели. При попытке удовлетворить это требование исполнитель встретится с трудностями, которые следует иметь в виду. Перечислим эти трудности.

**Трудности построения модели черного ящика.** Все они проистекают из того, что модель всегда содержит конечный список связей, тогда как их число у реальной системы не ограничено. Возникает вопрос: какие из них включать в модель, а какие — нет? Ответ мы уже знаем: в модели должны быть отражены все связи, существенные для достижения цели. Но слово «существенные» — оценочное! Оценку может дать только субъект. Но кроме способности оценивать, субъект обладает еще одним свойством — способностью иногда ошибаться в своих оценках. Ошибка в оценке приведет к тому, что модель не вполне будет отвечать требованию адекватности, а значит, ее использование приведет к затруднениям в работе с системой.

Возможны четыре типа ошибок при построении модели черного ящика.

*Ошибка первого рода* происходит, когда субъект расценивает связь как существенную и принимает решение о включении ее в модель, тогда как на самом деле по отношению к поставленной цели она несущественна и могла бы быть неучитываемой. Это приводит к появлению в модели «лишних» элементов, по сути ненужных.

*Ошибка второго рода*, наоборот, совершается субъектом, когда он принимает решение, что данная связь несущественна и не заслуживает быть включенной в модель, тогда как на самом деле без нее наша цель не может быть достигнута в полной мере или даже совсем.

Контрольный вопрос: какая из ошибок хуже? Обычно говорят: конечно, вторая. Ответ не точен. Ведь слово «хуже» — оценочное! Следовательно, нужно определить — «в каком смысле?» Отметим, что использование модели, содержащей ошибку, неизбежно приведет к потерям. Потери могут быть небольшими, приемлемыми или нетерпимыми, недопустимыми.

Если принять как критерий качества решения величину потерь при его реализации, то вопрос о том, какая ошибка хуже, сводится к сравнению величин потерь, связанных с ними.

Урон, наносимый ошибкой первого рода, связан с тем, что информация, внесенная ею, лишняя. При работе с такой моделью придется тратить лишние ресурсы на фиксацию и обработку лишней информации, например, тратить на нее память машины и время обработки. На качестве решения это может не сказаться, а на стоимости и своевременности — обязательно. Кроме того, если информация о «лишнем» элементе в модели зашумлена (на-



пример, погрешностями измерений), то присутствие этого шума снизит качество решения.

Потери от ошибки второго рода — это урон от того, что информации для полного достижения цели не хватит, цель не может быть достигнута в полной мере.

Теперь ясно, что хуже та ошибка, потери от которой больше. А это зависит от конкретных обстоятельств. Например, если время является критическим фактором, то ошибка первого рода становится гораздо более опасной, чем второго: вовремя принятое, пусть не наилучшее, решение предпочтительнее оптимального, но запоздавшего.

*Ошибкой третьего рода* принято считать последствия незнания. Для того чтобы оценивать существенность некоторой связи, надо знать, что она вообще есть. Если это неизвестно, вопрос о включении или невключении ее в модель вообще не стоит: в моделях есть только то, что мы знаем. Но от того, что мы не подозреваем о существовании некой связи, она не перестает существовать и проявляться в реальной действительности. А дальше все зависит от того, насколько она существенна для достижения нашей цели. Если она несущественна, то мы в практике и не заметим ее наличия в реальности и отсутствия в модели. Если же она существенна, мы будем испытывать те же трудности, что и при ошибке второго рода. Разница состоит в том, что ошибку третьего рода труднее исправить: надо добывать новые знания.

*Ошибка четвертого рода* может возникнуть при неверном отнесении известной и признанной существенной связи к числу входов или выходов. Например, жесткую корреляцию между урожайностью зерновых и яйценоскостью кур можно толковать как вход — то из них, что известно, а выход — то, что надо оценить. Но ведь можно счесть ношение определенного головного убора входом, поскольку было точно установлено, что в Англии прошлого века здоровье мужчин, носящих цилиндры, было намного лучше, чем здоровье носящих кепки. Как интерпретировать факт, что заключенные чаще посещают церковь, чем люди на свободе? А проблема симптомов и синдромов в медицине?

Таким образом, при построении модели черного ящика следует остерегаться совершить любую из четырех ошибок.

**Открытость систем и целостность мира.** Очень важным для системного анализа следствием открытости систем является очевидность *всеобщей взаимосвязи и взаимозависимости в природе*. Этот закон диалектики, установленный в интеллектуальных и экспе-

риментальных муках нескольких поколений, оказывается вполне простым результатом открытости систем. Между любыми двумя системами обязательно существует, и ее можно отыскать, длинная или короткая цепочка систем, связывающая их: выход каждой системы является входом другой. При этом прямая и обратная цепи, как правило, различны, откуда возникает понятие несимметричной причинно-следственной связи.

В заключение рассмотрения второго свойства систем предлагается маленькое интеллектуальное развлечение. Ответьте на вопрос: существуют ли закрытые (т.е. не имеющие связей с окружающей средой) системы? Для облегчения предлагается три варианта ответа: 1) да, существуют; 2) нет, не существуют; 3) не знаю, и никогда не узнаю. Эксперимент, проверяющий существование или не существование закрытой системы, поставить невозможно, поэтому этот вопрос является предметом веры, а не науки; сторонники противоположных утверждений («да» и «нет») не в состоянии доказать свою правоту, насколько бы они ни были уверены в ней.

**Внутренняя неоднородность: различимость частей** (третье свойство системы). Если заглянуть внутрь «черного ящика», то выяснится, что система не однородна, не монолитна: можно обнаружить, что разные качества в разных местах отличаются. Описание внутренней неоднородности системы сводится к обособлению относительно однородных участков, проведению границ между ними. Так появляется понятие о *частях системы*. При более детальном рассмотрении оказывается, что выделенные крупные части тоже не однородны, что требует выделять еще более мелкие части. В результате (рис. 2.3) получается иерархический список частей системы, который мы будем называть *моделью состава системы*.

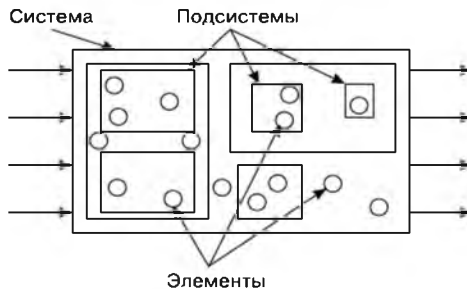


Рис. 2.3

Информация о составе системы может использоваться для работы с системой. Цели взаимодействия с системами могут быть различными, в связи с чем могут различаться и модели состава одной и той же системы. Полезную, пригодную для работы модель создать непросто.

**Трудности построения модели состава.** На первый взгляд части системы различить нетрудно, они «бросаются в глаза». Некоторые системы дифференцируются на части самопроизвольно в процессе естественного роста и развития (организмы, социумы, планетные системы, молекулы, месторождения полезных ископаемых и т.д.). Искусственные системы заведомо собираются из ранее отдельных частей (механизмы, здания, тексты, мелодии и пр.). Есть и смешанные типы систем (заповедники, сельскохозяйственные системы, природоисследующие организации, тягловый транспорт).

С другой стороны, спросите, из каких частей состоит университет, у ректора, студента, бухгалтера, хозяйственника — и каждый выдаст свою, отличную от других модель состава. Так же по-разному определяют состав самолета летчик, стюардесса, пассажир. Можно сказать, что тело состоит из правой и левой половинок, а можно — из верхней и нижней. Так из чего же оно состоит «на самом деле»?

Трудности построения модели состава, которые каждому приходится преодолевать, можно представить тремя положениями.

*Первое.* Целое можно делить на части по-разному (как разрезать булку хлеба на ломти разного размера и формы). А как именно надо? Ответ: так, как вам надо для достижения вашей цели. Например, состав автомобиля по-разному представляют начинающим автолюбителям, будущим профессионалам-водителям, слесарям, готовящимся к работе в авторемонтных мастерских, продавцам в автомагазинах.

Тогда естественно вернуться к вопросу: а существуют ли части «на самом деле»? Обратите внимание на аккуратную формулировку рассматриваемого свойства: *различимость* частей, а не *разделимость* на части. Мы с еще одной стороны вышли на проблему *целостности* систем: можно различать нужные вам для вашей цели части системы и использовать доступную вам информацию о них, но не следует разделять их. Позднее мы углубим, разовьем это положение.

*Второе.* Количество частей в модели состава зависит и от того, на каком уровне остановить дробление системы. Части на конечных ветвях получающегося иерархического дерева назы-

ваются *элементами*. В различных обстоятельствах прекращение декомпозиции производится на разных уровнях. Например, при описании предстоящих работ приходится давать опытному работнику и новичку инструкции разной степени подробности. Таким образом, модель состава зависит от того, что считать *элементарным*, а поскольку это слово оценочное, то это не абсолютное, а относительное понятие. Однако встречаются случаи, когда элемент носит природный, абсолютный характер (клетка — простейший элемент живого организма; индивид — последний элемент общества) либо определяется нашими возможностями (например, можно предполагать, что электрон тоже из чего-то состоит, но пока физики не смогли обнаружить его части с дробным зарядом).

*Третье.* Любая система является частью какой-то большей системы (а нередко частью сразу нескольких систем). А эту метасистему тоже можно делить на подсистемы по-разному. Это означает, что *внешняя граница системы имеет относительный, условный характер*. Даже «очевидная» граница системы (кожа человека, ограда предприятия и т.п.) при определенных условиях оказывается недостаточной для определения границы в этих условиях. Например, во время трапезы я беру вилкой с тарелки котлету, откусываю ее, пережевываю, глотаю, перевариваю. Где та граница, пересекая которую котлета становится моей частью? Другой пример с границей предприятия. Работник упал на лестнице и сломал ногу. После лечения при оплате бюллетеня возникает вопрос: какая это была травма — бытовая или производственная (они оплачиваются по-разному)? Нет сомнения, если это была лестница предприятия. Но если это была лестница дома, где живет работник, то все зависит от того, как он шел домой. Если прямо с работы и еще не дошел до двери квартиры, травма считается производственной. Но если он по дороге зашел в магазин или кинотеатр — травма бытовая. Как видим, закон определяет пределы предприятия *условно*.

Условность границ системы опять возвращает нас к проблеме целостности, теперь уже целостности всего мира. Определение границы системы производится с учетом целей субъекта, который будет использовать модели системы.

*Структурированность.* Четвертое статическое свойство заключается в том, что части системы не независимы, не изолированы друг от друга; они связаны между собой, взаимодействуют

друг с другом. При этом свойства системы в целом существенно зависят от того, как именно взаимодействуют ее части. Поэтому так часто важна информация о связях частей. Перечень *существенных связей между элементами системы* называется *моделью структуры системы*. Наделенность любой системы определенной структурой и будем называть четвертым статическим свойством систем — *структурированностью*.

Понятие структурированности дальше углубляет наше представление о целостности системы: связи как бы скрепляют части, удерживают их как целое. Целостность, отмеченная ранее как внешнее свойство, получает подкрепляющее объяснение изнутри системы — через структуру (рис. 2.4).

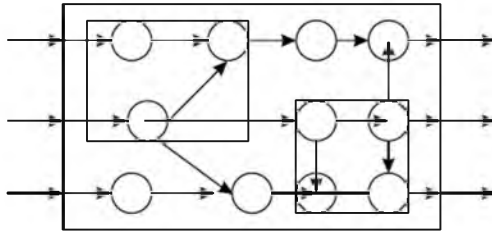


Рис. 2.4

Если нам потребуется использовать модель структуры системы, то снова необходимо позаботиться о качестве модели. А это опять-таки оказывается непростым делом.

**Трудности построения модели структуры.** Подчеркнем, что для данной системы может быть предложено множество разных моделей структуры. Ясно, что для достижения определенной цели потребуется одна, конкретная, наиболее подходящая модель из них. Трудность выбора из имеющихся или построения модели специально для нашего случая проистекает из того, что, по определению, модель структуры — это перечень *существенных* связей. Слово «существенные» — оценочное, поэтому его смысл зависит от объективных обстоятельств и от субъективных оценок этих обстоятельств. Обсудим основные трудности, подстерегающие нас при определении модели структуры.

Первая трудность связана с тем, что модель структуры определяется после того, как выбирается модель состава, и зависит от того, каков именно состав системы. Но даже при зафиксированном составе модель структуры переменна — из-за возмож-

ности по-разному определить существенность связей. Например, современному менеджеру рекомендуется учитывать, что наряду с формальной структурой его организации (которая определена уставными документами) неизбежно существует неформальная структура (в силу личностных связей между работниками), которая тоже влияет на функционирование организации. Для повышения эффективности управления следует знать и использовать как формальную, так и неформальную структуру. Другой пример: при конструировании и эксплуатации компьютерных систем приходится учитывать одновременно их аппаратную (hardware) и программную (software) составляющие со своими, взаимодействующими между собой, а иногда взаимозаменяющимися структурами.

Вторая трудность проистекает из того, что каждый элемент системы есть «маленький черный ящик». Так что все четыре типа ошибок возможны при определении входов и выходов каждого элемента, включаемых в модель структуры.

## 2.2. Динамические свойства системы

Перейдем к рассмотрению второй группы свойств систем, называемых *динамическими свойствами*.

Если рассмотреть состояние системы в другой, отличный от первого, момент времени, то мы вновь обнаружим все четыре статических свойства. Но если наложить эти две «фотографии» друг на друга, то обнаружится, что они отличаются в деталях: за время между двумя моментами наблюдения произошли какие-то изменения в системе и ее окружении. Такие изменения могут быть важными при работе с системой и, следовательно, должны быть отображены в описаниях системы и учтены в работе с нею. Особенности изменений со временем внутри системы и вне ее и именуется динамическими свойствами систем. Если статические свойства — это то, что можно увидеть на фотографии системы, то динамические — то, что обнаружится при просмотре кинофильма про систему. О любых изменениях мы имеем возможность говорить в терминах перемен в статических моделях системы. В этой связи различаются четыре динамических свойства.

**Функциональность** — пятое свойство системы. Процессы  $Y(t)$ , происходящие на выходах системы ( $Y(t) = \{y_1(t), y_2(t), \dots, y_n(t)\}$ , рис. 2.5), рассматриваются как ее *функции*.

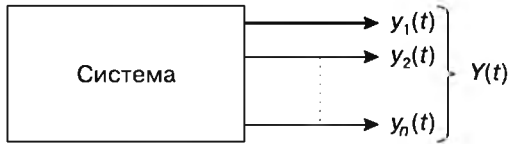


Рис. 2.5

Функции системы — это ее поведение во внешней среде; изменения, производимые системой в окружающей среде; результаты ее деятельности; продукция, производимая системой.

Из множественности выходов следует множественность функций, каждая из которых может быть кем-то и для чего-то использована. Поэтому одна и та же система может служить для разных целей.

Субъект, использующий систему в своих целях, будет, естественно, *оценивать* ее функции и *упорядочивать* их по отношению к своим потребностям. Так появляется понятие главной, второстепенной, нейтральной, нежелательной, лишней и т.п. функции. Снова обратим внимание, что все эти термины оценочные, субъективные, относительные. Так, главной функцией лампы считается давать свет; но при выборе светильника из десятков прочих продаваемых в магазине на первый план выходят его декоративные качества, согласованность с интерьером помещения, его стоимость и пр.

Итак, выделим два момента данного свойства систем: объективную многофункциональность и субъективную упорядоченность функций.

*Стимулируемость* — шестое свойство системы. На входах системы тоже происходят определенные процессы  $X(t) = \{x_1(t), x_2(t), \dots, x_m(t)\}$  (рис. 2.6), воздействующие на систему, превращаясь (после ряда преобразований в системе) в  $Y(t)$ . Назовем воздействия  $X(t)$  *стимулами*, а саму подверженность любой системы воздействиям извне и изменение ее поведения под этими воздействиями — *стимулируемостью*.

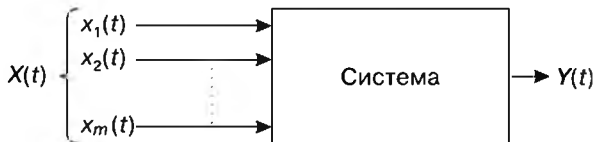


Рис. 2.6

**Изменчивость системы со временем** — седьмое свойство системы. В любой системе происходят изменения, которые надо учитывать: предусматривать и закладывать в проект будущей системы; способствовать или противодействовать им, ускоряя или замедляя их при работе с существующей системой. Изменяться в системе может что угодно, но в терминах наших моделей можно дать наглядную классификацию изменений: изменяться могут значения внутренних переменных (параметров)  $Z(t)$  (рис. 2.7), состав и структура системы и любые их комбинации.

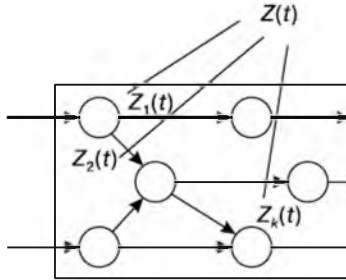


Рис. 2.7

Характер этих изменений тоже может быть различным. Поэтому могут рассматриваться дальнейшие классификации изменений.

Самая очевидная классификация — по скорости изменений: быстрые, медленные (по сравнению с чем-то, взятым за стандарт); возможно введение большего числа градаций скоростей (сверхбыстрые, очень быстрые и т.д.).

Представляет интерес классификация тенденций перемен в системе, касающихся ее состава и структуры. Начнем эту классификацию с введения специальных понятий, рассматривая изменения на коротком интервале времени, чтобы изменения можно было считать идущими «в одну сторону», т.е. монотонными.

Можно говорить о таких изменениях, которые не затрагивают структуры системы: одни элементы заменяются другими, эквивалентными; параметры (внутренние переменные  $Z(t)$ ) могут меняться без изменения структуры («работают» часы, городской транспорт, школа, баня и т.д.). Такой тип динамики системы называют ее *функционированием*.



Далее, изменения могут носить преимущественно *количественный* характер: происходит наращивание состава системы, и хотя при этом автоматически меняется и ее структура, это до поры до времени не сказывается на свойствах системы (расширение мусорной свалки или кладбища — примеры). Такие изменения называют *ростом* системы.

Затем выделяют *качественные* изменения системы, при которых происходит изменение ее существенных свойств. Если такие изменения идут в позитивном направлении, они называются *развитием*. С теми же ресурсами развитая система добивается более высоких результатов, могут появиться новые позитивные качества (функции). Это связано с повышением уровня системности, организованности системы.

Применительно к организационным системам Р. Акофф определяет развитие как «увеличение желаний и способности удовлетворять свои собственные и чужие нужды и оправданные желания». (Желания называются «оправданными», если их удовлетворение ради одних не скажется отрицательно на развитии других. Нужды — это то, что необходимо для выживания. Возможны разные комбинации: например, можно не хотеть нужного, можно желать ненужного.)

Сколько субъект (индивид или организация) имеет, это вопрос накопленного богатства. Показателем богатства является *уровень жизни*. А вот вопрос о том, что мы можем сделать с тем, что имеем, — это вопрос компетентности, т.е. чему мы научились. А это выражается достигнутым *качеством жизни*. Чем более развит субъект, тем меньше средств ему требуется для достижения удовлетворительного качества жизни, либо тем большего качества жизни он может достичь с тем, что имеет.

Интересно заметить, что сосредоточение на росте является патологией для индивида, но обычно является нормальным для организаций.

Итак, рост происходит в основном за счет потребления материальных ресурсов, развитие — за счет усвоения и использования информации. Рост есть увеличение в размерах и численности. Развитие — это увеличение компетентности. Объемность — результат роста; компетентность — результат развития. Цель роста организации — повышение уровня жизни. Цель развития организации — повышение качества жизни. Рост может сдерживать развитие, но развитие не может сдерживать рост. Рост и разви-

тие могут идти одновременно (как у ребенка), но не обязательно связаны между собой. Рост всегда ограничен (в силу внешних физических условий, в частности ограниченности материальных ресурсов), а развитие извне не ограничено, поскольку информация о внешней среде неисчерпаема: сколько бы мы ни знали, всегда есть нечто еще непознанное. Недостаток материальных ресурсов может ограничить рост, но не развитие. Однако существует внутреннее ограничение на развитие. Дело в том, что развитие есть результат усвоения и использования новой информации, т.е. результат *обучения*. Но обучение есть, пожалуй, единственное действие, которое нельзя осуществить для и вместо обучаемого. Если система не желает обучаться, она не будет, не может развиваться. Извне невозможно развить систему, можно только помочь в развитии, но при условии склонности системы к обучению. *Развитие возможно только как саморазвитие*. Например, пробуксовка российских реформ в их начальном периоде 1990-х гг. связана с нежеланием руководителей обучаться. Черномырдин в бытность премьер-министром отказался даже выслушать соображения обратившихся к нему десяти всемирно известных лауреатов Нобелевской премии по экономике, озабоченных неэффективностью социально-экономических преобразований в нашей стране.

Ясно, что, кроме процессов роста и развития, в системе могут происходить и обратные процессы. Обратные росту изменения называют *спадом*, сокращением, уменьшением. Обратное развитию изменение именуют *деградацией*, утратой или ослаблением полезных свойств.

Мы рассмотрели возможные монотонные изменения самой системы (рис. 2.8).

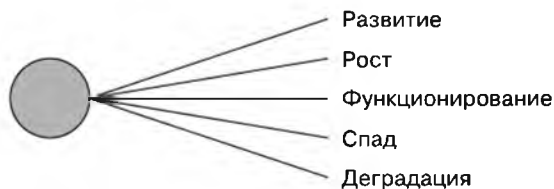


Рис. 2.8

Очевидно, монотонные изменения не могут длиться вечно. В истории любой системы можно усмотреть периоды спада и подъема, стабильности и неустойчивости, последователь-

ность которых и образует индивидуальный *жизненный цикл* системы.

Понятие жизненного цикла заслуживает специального обсуждения, поскольку как при проектировании будущих систем, так и при изучении существующих и при управлении ими информация об индивидуальной истории системы играет весьма существенную, часто решающую роль в достижении поставленной цели.

При построении описания жизненного цикла особое внимание необходимо обратить на *непрерывность* его траектории. По-разному приходится определять жизненный цикл в прошлом и будущем. Прошедшую историю восстанавливают по дошедшей до нас информации о ней. К сожалению, нередко эта информация неполна, неточна, а об отдельных периодах вовсе утрачена. Поэтому описание прошедших событий часто поневоле имеет невосстановимые пробелы (примером может служить жизнеописание Иисуса Христа, содержащееся в Евангелиях). Но при определении будущего жизненного цикла проектируемой системы непрерывность должна быть предметом особой заботы: история этой системы закончится на первом же пробеле в описании ее жизненного цикла. Примеров тому много. Непродуманность этапа утилизации отслуживших ламп дневного света привела к тому, что из разбитых на свалках ламп ртуть попадает в почву и воды, отравляя все живое. Непродуманность этапа соединения кабелей космической ракеты закончилась тем, что у корабля, отправленного на Марс, не раскрылись антенны из-за неправильно подсоединенного сигнального кабеля, и все многомиллиардные затраты на проект пошли прахом. А сколько было случаев гибели урожая на полях из-за пропуска какого-нибудь этапа (например, своевременного вывоза буртов) его жизненного цикла. В описании любой технологии не должно быть пробелов.

Заметим далее, что, характеризуя процессы, происходящие в системе, можно использовать и другие их классификации. Например, классификация *по предсказуемости*: детерминированные и случайные процессы. Или классификация *по типу зависимости от времени*: процессы монотонные, периодические, гармонические, импульсные и т.д.

*Существование в изменяющейся среде* — восьмое свойство системы. Изменяется не только данная система, но и все остальные. Для данной системы это выглядит как непрерывное изменение

окружающей среды. Неизбежность существования в постоянно изменяющемся окружении имеет множество последствий для самой системы, начиная с необходимости ее приспособления к внешним переменам, чтобы не погибнуть, до различных других реакций системы. При рассмотрении конкретной системы с конкретной целью внимание сосредотачивается на некоторых конкретных особенностях ее реакции. В качестве примера рассмотрим вопрос о том, как должна соотноситься скорость изменений внутри системы со скоростью изменений в окружающей среде — быть медленнее, совпадать или идти быстрее? Это определяется в зависимости от природы системы или ее предназначенности. Например, системы, предназначенные для переноса информации во времени (книги, памятники, произведения искусства, видео- и аудиозаписи, триангуляционные метки и т.п.), тем лучше выполняют свою функцию, чем медленнее они меняются при изменениях в окружающей среде. Другой пример этого — сохранение своего состояния автоматами и живыми организмами (гомеостат, стабилизация, стационарность). Иная реакция живых организмов идет практически одновременно с изменениями среды, например, адаптация зрачка при изменениях освещения. Существуют системы, функции которых могут выполняться только если изменения в системе опережают изменения в среде. Типичный пример — управление: перебор и сравнение различных вариантов управляющего воздействия должны происходить в ускоренном темпе, чтобы выбранное воздействие шло в реальном масштабе времени.

Отметим еще одну важную особенность существования системы в изменяющейся среде. Сами изменения постоянно меняются; это выражается в ускорении перемен в среде. Например, скорости передвижения в пространстве, передачи и обработки информации, производства и потребления продукции за время нашего поколения возросли больше, чем за всю предысторию. Это требует быстрых и значительных перемен в том, что и как мы делаем. Плохо приспособившиеся к изменениям люди, организации, фирмы, правительства быстро сходят со сцены, выбывают из игры. Единственный шанс сохраниться в турбулентной среде — обеспечить динамическое равновесие, наподобие тому, как это делает корабль или самолет, попавший в шторм. И чем сильнее внешние изменения, тем активнее должны проводиться внутренние (сравните активность водителя на хорошей и плохой дорогах, в хорошую и плохую погоду).

И хотя важными средствами остаются прогнозирование и обучение, более эффективными считаются выработка иммунитета к неподконтрольным с нашей стороны изменениям и усиление контроля над остальными.

### 2.3. Синтетические свойства системы

Перейдем теперь к третьей группе свойств систем — *синтетическим*. Этот термин обозначает обобщающие, собирательные, интегральные свойства, учитывающие сказанное раньше, но делающие упор на взаимодействия системы со средой, на целостность в самом общем понимании.

*Эмерджентность* — девятое свойство системы. Пожалуй, это свойство более всех остальных говорит о природе систем. Начнем его изложение с примеров.

*Пример механический.* С двумя взаимодействующими булыжниками можно произвести эффекты, невозможные при их отдельном использовании: издавать стуки, высекать искры, колоть орехи и т.д.

*Пример химический.* При соединении водорода с кислородом, обладающих каждый рядом особенных свойств, по формуле  $H_2O$  возникает новое замечательное вещество — вода. Свойства воды, многие из которых изучены не до конца (роль воды в живой и неживой природе, талая вода, вода омагниченная с их отличиями от обычной воды, память воды и т.п.), не являются производными от свойств водорода и кислорода.

*Пример биологический.* Мужская и женская особи двуполой популяции обладают каждая своими индивидуальными особенностями. Но только при их соединении возникает возможность продолжения рода, образования социума и т.д.

*Пример логико-математический.* Пусть у нас есть два черных ящика с одним входом и одним выходом. Каждый из них может работать только с целыми числами и выполнять только одну простенькую операцию: к числу на входе прибавлять единицу (рис. 2.9). Соединим их теперь в систему по кольцевой схеме (рис. 2.10). У нас получилась система  $S_1$  без входов и с двумя выходами. На каждом такте работы схема будет выдавать большее число, причем замечательно, что на одном выходе будут появляться только четные, а на другом — только нечетные числа. Правда, красивый пример?

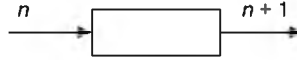


Рис. 2.9

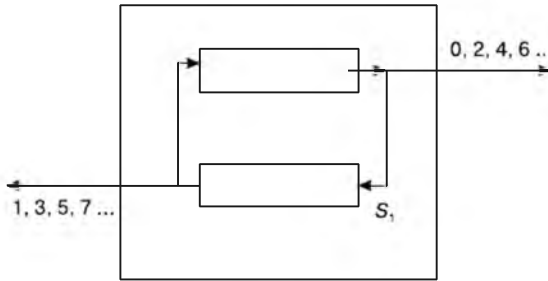


Рис. 2.10

Теперь сделаем выводы. Объединение частей в систему порождает у системы качественно новые свойства, не сводящиеся к свойствам частей, не выводящиеся из свойств частей, присущие только самой системе и существующие только пока система составляет одно целое. Система есть нечто большее, нежели простая совокупность частей. Качества системы, присущие только ей, называются *эмерджентными* (от англ. «возникать»).

Откуда же берутся эмерджентные свойства, если их нет ни у одной из частей? Что в системе несет ответственность за их появление? Ответ найдем в логико-математическом примере. Соединим те же два черных ящика по-иному, в параллель (рис. 2.11).

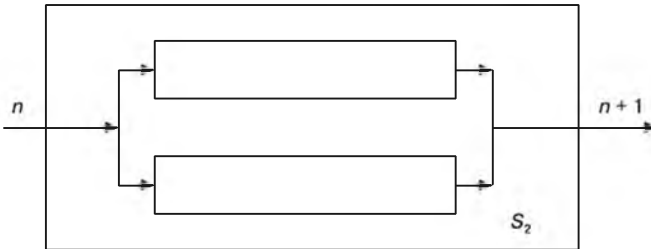


Рис. 2.11

Полученная система  $S_2$  имеет один вход и один выход. Если на вход подать число  $n$ , на выходе будет  $n+1$ . Выходит,  $S_2$  арифметически тождественна каждому элементу и ее арифметическое

свойство не является эмерджентным (в отличие от  $S_1$ )! Но мы уже знаем, что у системы обязательно есть эмерджентные свойства. Выясняется, что таковым у  $S_2$  оказывается способность выполнять операцию  $n+1$ , даже если один из элементов выйдет из строя, т.е. повышенная надежность. В теории надежности этот способ известен как *резервирование* — повышение надежности за счет введения в схему *избыточности*.

Легко видеть, что  $S_1$  и  $S_2$ , состоящие из одинакового числа одинаковых элементов, отличаются только схемой их соединения, т.е. *структурой*. Структура системы и определяет ее эмерджентные свойства.

Подведем итоги.

1. У системы есть эмерджентные свойства, которые не могут быть объяснены, выражены через свойства отдельно взятых ее частей. Поэтому, в частности, не все биологические закономерности сводимы к физическим и химическим; социальные — к биологическим и экономическим; свойства компьютера не объяснимы только через электрические и механические законы.

2. Источником, носителем эмерджентных свойств является структура системы: при разных структурах у систем, образуемых из одних и тех же элементов, возникают разные свойства.

3. У системы есть и неэмерджентные свойства, одинаковые со свойствами ее частей. Например, для технических систем это объем, масса; арифметика для  $S_2$  и т.д. И у системы в целом могут быть неэмерджентные свойства (например, окраска автомобиля). Важным и интересным случаем, когда части системы обладают свойствами системы в целом, является так называемое *фрактальное* построение системы. При этом принципы структурирования частей те же, что и у системы в целом. Фракталы наблюдаются в природе (иерархическое управление в живых организмах, тождество организации на различных уровнях в естественно растущих системах — биологических, геологических, демографических и т.п.), математики разрабатывают абстрактную теорию фракталов.

4. Эмерджентность демонстрирует еще одну грань целостности. Система выступает как единое целое потому, что она является носителем эмерджентного свойства: не будет она целой, и свойство исчезнет, проявляется это свойство, значит, система цела. Пример: ни одна из частей самолета летать не может, а самолет летает.

5. Эмерджентность является другой, более развитой формой выражения закона диалектики о переходе количества в качество.

Оказывается, для перехода в новое качество не обязательно «накопление» количества («последняя капля переполнила чашу», «последняя соломинка переломила хребет верблюду»). Для появления нового качества достаточно объединить в целое хотя бы два элемента.

6. Заметим, что динамический аспект эмерджентности обозначен отдельным термином — *синергетичность*, и исследованиям синергетики посвящена обширная литература.

7. Интересно отметить, что в то время как в искусственных системах эмерджентное свойство возникает в результате намеренного соединения отобранных частей, в естественных системах эмерджентность определяет, какие части должны быть соединены, и как они должны взаимодействовать. Так, живой организм определяет смысл скелета, сердца, печени и легких; создание семьи придает смысл ролям мужа, жены, их детей. (Эмерджентность первого — выживание в природной среде; второго — в социальной.)

8. Действие системы больше зависит от того, как ее части взаимодействуют, чем от того, как они действуют сами по себе. Поэтому улучшение действия отдельных подразделений организации вовсе не обязательно приведет к улучшению действия всей организации, и часто даже наоборот (в математике это проявляется в различии между локальной и глобальной оптимизациями; в бизнесе — в виде целесообразности производства убыточных товаров ради увеличения покупаемости прибыльных).

И главная рекомендация менеджерам любого уровня состоит в том, чтобы они занимались не столько улучшением работы отдельных частей своего подразделения, сколько улучшением взаимодействий между ними и связей своего подразделения с окружающей средой.

Примером может служить работа дирижера оркестра. Он не указывает музыкантам, как играть на инструментах: они умеют это делать лучше него. Его дело управлять не их действиями, а их взаимодействием. Тут важную роль начинают играть такие факторы, как слежение оркестрантов за действиями остальных, наличие общей партитуры, желание каждого влиться в гармонию, слаженность команды. Работа же лидера еще сложнее, чем работа дирижера.

*Неразделимость на части* — десятое свойство системы. Хотя это свойство является простым следствием эмерджентности, его практическая важность столь велика, а его недооценка встречается так



часто, что целесообразно подчеркнуть его отдельно. Если нам нужна сама система, а не что-то иное, то ее нельзя разделять на части.

При изъятии из системы некоторой части происходит два важных события.

Во-первых, при этом изменяется состав системы, а значит, и ее структура. Это будет уже *другая* система, с отличающимися свойствами. Поскольку свойств у прежней системы много, то какое-то свойство, связанное именно с этой частью, вообще исчезнет (оно может оказаться и эмерджентным, и не таковым, например: сравните потерю фаланги пальца для пианиста и геолога, гитариста и плотника). Какое-то свойство изменится, но частично сохранится. А какие-то свойства системы вообще несущественно связаны с изымаемой частью.

Подчеркнем еще раз, что существенно или нет скажется изъятие части из системы — вопрос оценки последствий. Поэтому, например, от пациента спрашивается согласие на операцию, и не каждый соглашается на нее.

Второе важное следствие изъятия части из системы состоит в том, что часть в системе и вне ее — это не одно и то же. Изменяются ее свойства в силу того, что свойства объекта проявляются во взаимодействиях с окружающими его объектами, а при изъятии из системы окружение элемента становится совсем другим. Оторванная рука уже ничего не схватит, вырванный глаз — ничего не увидит. Суворов или Жуков, изъятые из армии, — уже не полководцы.

Было бы, однако, неправильным абсолютизировать неделимость систем. Например, это означало бы запрет на хирургические операции, на организационные преобразования предприятий. Надо только четко отдавать себе отчет в том, что после разделения мы имеем дело с другими системами. Особо это важно при аналитическом изучении системы, когда ее части рассматриваются по очереди. Требуется специальная забота о сохранении связей рассматриваемой части с остальными частями системы.

*Ингерентность* — одиннадцатое свойство системы. Будем говорить, что система тем более ингерентна (от англ. *inherent* — являющийся неотъемлемой частью чего-то), чем лучше она согласована, приспособлена к окружающей среде, совместима с нею. Степень ингерентности бывает разной и может изменяться (обучение, забывание, эволюция, реформы, развитие, деградация и т.п.).

Факт открытости всех систем еще не означает, что все они в одинаковой степени хорошо согласованы с окружающей средой. Рассмотрим функцию «плавать в воде» и сравним по качеству выполнения этой функции такие системы, как рыба, дельфин и аквалангист. Они упорядочиваются очевидным образом: рыбе вообще не требуется выход из водной среды; дельфин должен дышать воздухом; возможности аквалангиста ограничены емкостью баллона воздуха, не говоря уж о физических и физиологических ограничениях.

Целесообразность подчеркивания ингерентности как одного из фундаментальных свойств систем вызвана тем фактом, что от нее зависят степень и качество осуществления системой избранной функции. В естественных системах ингерентность повышается путем естественного отбора. В искусственных системах она должна быть особой заботой конструктора. Наглядные примеры: подготовка к трансплантации органа донора и организма пациента, обмен культурными ценностями, внедрение технических новинок.

В ряде случаев ингерентность обеспечивается с помощью промежуточных, посреднических систем. Приведем несколько примеров. Иероглифическую письменность древних египтян удалось расшифровать лишь с помощью розеттского камня, на одной стороне которого была надпись иероглифами (неингерентная современной культуре), а на другой та же надпись на древнегреческом языке, известном современным специалистам. Другой пример — адаптеры, переходники для подключения европейских электроприборов к американским розеткам. Еще один пример — работа переводчика между двумя разноязычными личностями. Медицинский пример: в Томске профессор Г.Ц. Домбаев разработал метод лечения диабета путем пересадки пациенту клеток железы телянка. Но организм человека быстро обнаруживает чужеродность (неингерентность) имплантата и отторгает его. Однако по каким-то причинам организм не отторгает некоторые металлы (инвалиды войн иногда пожизненно живут с осколками в теле). Выход был найден в том, чтобы вживить в тело пациента пористую металлическую капсулу с клетками чужой целебной железы.

Проблема ингерентности важна во всех случаях системной деятельности. Яркими примерами служат менеджмент и лидерство (совместимость руководителя с руководимыми), маркетинг и инновационная деятельность (ингерентность предлагаемого

продукта к целевым потребителям), педагогическое мастерство (согласование преподавателя с аудиторией), служба стандартизации (забота о совместимости продуктов, производимых на разных предприятиях), подготовка шпионов-нелегалов (обеспечение их неотличимости от граждан разведываемой страны) и т.д.

В заключение подчеркнем, что ингерентность — не абсолютное свойство системы, а привязано к некоторой конкретной функции. В частности, если взять наш пример с рыбой, дельфином и аквалангистом в воде и рассмотреть ту же ситуацию по отношению к функции «осуществить электросварку под водой», то эти три системы упорядочатся по ингерентности совсем в другом порядке.

**Целесообразность** — двенадцатое свойство системы. В создаваемых человеком системах подчиненность всего (и состава, и структуры) поставленной цели настолько очевидна, что должна быть признана фундаментальным свойством любой искусственной системы. Назовем это свойство *целесообразностью*. Цель, ради которой создается система, определяет, какое эмерджентное свойство будет обеспечивать реализацию цели, а это, в свою очередь, диктует выбор состава и структуры системы. Одно из определений системы так и гласит: *система есть средство достижения цели*. Подразумевается, что если выдвинутая цель не может быть достигнута за счет уже имеющихся возможностей, то субъект komponует из окружающих его объектов новую систему, специально создаваемую, чтобы помочь достичь данную цель. Стоит заметить, что редко цель однозначно определяет состав и структуру создаваемой системы: важно, чтобы реализовалась нужная функция, а этого часто можно достичь разными способами. В то же время обращает на себя внимание подобие строения разных представителей внутри одного типа систем (живых организмов, транспортных средств, планетных систем, месторождений ископаемых и т.д.).

**Проблема целесообразности в природе.** Обратившись к нерукотворной природе, мы обнаруживаем, что естественные объекты обладают всеми предыдущими одиннадцатью свойствами систем, причем часто выраженность этих свойств многократно превосходит таковую у искусственных систем. Возникла даже специальная наука бионика, «подглядывающая» секреты гармоничности и совершенства живых организмов с целью переноса обнаруженных принципов в технику. И в неживой природе на-

блюдаются очевидные проявления системности: физические, химические, геологические, астрономические объекты по всем признакам должны быть отнесены к системам. Кроме пока одного — целесообразности.

Первый напрашивающийся выход состоит в проведении аналогии между искусственными системами и естественными объектами. Эта аналогия отождествляет искусственные и естественные системы и заставляет искать целеполагающего субъекта вне самой Вселенной. При этом приходится признать, что интеллект Творца несравнимо превосходит разум человека. Такова основа возникновения религий. Естественно возникает вопрос: а сам-то Бог — система? Разные религии по-разному рассматривают этот вопрос. Одни объявляют его не имеющим смысла в силу того, что человеческому разуму не дано познать превосходящую его возможности сложность Творца; предлагается верить в то, что он сам себе причина и следствие. Есть, однако, религии, не считающие этот вопрос еретическим; они выдвигают гипотезу иерархичности божеств: есть боги для людей, далее есть боги для богов людей и так далее до бесконечности.

Однако можно предложить другую гипотезу об аналогичности, но не тождественности рукотворных и природных систем, которая позволяет разрешить возникшую трудность, не требуя мысленного выхода за пределы Вселенной. Для этого необходимо уточнить, конкретизировать *понятие цели*.

**Что такое цель?** Проследим, как развивается, углубляется, уточняется понятие цели на примере близкого нам понятия искусственной системы.

История любой искусственной системы начинается в некоторый момент  $0$  (рис. 2.12), когда существующее состояние выходов  $Y(t=0)=Y_0$  оказывается неудовлетворительным, т.е. возникает *проблемная ситуация*. Субъект недоволен этим состоянием и хотел бы его изменить. На вопрос, а чего он хотел бы (какова его цель), он отвечает, что его удовлетворило бы состояние  $Y^*$ . Это есть первое определение цели. Далее обнаруживается, что  $Y^*$  не существует сейчас, но и не может в силу ряда причин быть достигнуто в ближайшем будущем. Второй шаг в определении цели состоит в признании ее желательным *будущим* состоянием. Тут же выясняется, что будущее не ограничено. Третий шаг в уточнении понятия цели состоит в оценке времени  $T^*$ , когда желаемое состояние  $Y^*$  может быть достигнуто в заданных условиях. Теперь

цель становится двумерной, это точка  $(T^*, Y^*)$  на нашем графике. Задача теперь состоит в том, чтобы перейти из точки  $(0, Y_0)$  в точку  $(T^*, Y^*)$ . Но оказывается, что пройти этот путь можно по разным траекториям, каждая из которых начинается в  $(0, Y_0)$  и кончается в  $(T^*, Y^*)$ , а реализована может быть только одна из них. Встает проблема сравнения и выбора наилучшей траектории. Пусть выбор выпал на траекторию  $Y^*(t)$ . Это означает, что нам не только желательно прибыть в пункт  $(T^*, Y^*)$ , но прибыть через последовательность состояний на кривой  $Y^*(t)$ . Таким образом, в понятие цели необходимо включить и все желаемые будущие состояния, конечное и промежуточные. Это четвертый, заключительный шаг в определении цели: под целью теперь понимается не только конечное состояние («конечная цель»)  $(T^*, Y^*)$ , но *вся траектория*  $Y^*(t)$  («промежуточные цели», «план»).

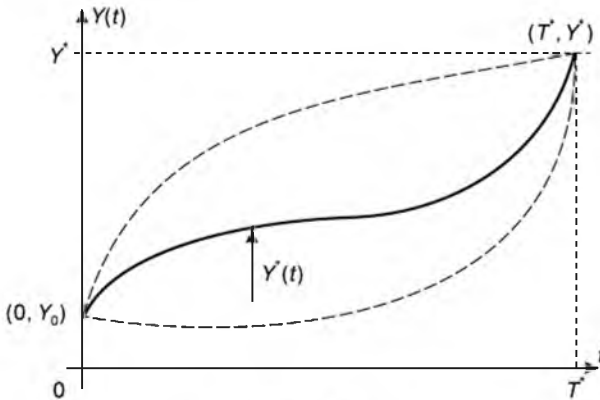


Рис. 2.12

Итак, *цель есть желаемые будущие состояния системы*  $Y^*(t)$ .

**Целесообразность природных объектов.** Теперь посмотрим на наш график с другой точки зрения. Глядя на  $(T^*, Y^*)$  с позиции  $t = 0$ , мы считаем его желаемым будущим состоянием. По прошествии времени  $T^*$  это состояние становится реальным, достигнутым настоящим. Поэтому появляется возможность определить конечную цель как *будущее реальное состояние*. Это решающий шаг к интерпретации целесообразности в природе: ведь у любого, в том числе естественного, объекта обязательно наступит в будущем некоторое состояние. Это, по определению, и есть цель. И что важно, нам не требуется гипотеза о ком-то

определяющем цель заранее. Теперь мы имеем возможность сказать, что свойством целесообразности обладают и естественные системы. Это позволяет с единых позиций и с единой методикой подходить к рассмотрению любых систем.

Чтобы рассеять возникающее недоумение, честно и явно признаем, что «цель как образ желаемого будущего» и «цель как реальное будущее» — это не одно и то же. Введем для них разные термины: первое будем называть *субъективной целью*, а второе — *объективной целью*.

Это, во-первых, проясняет разницу между искусственными и естественными системами: искусственные системы создаются для достижения субъективных целей; естественные системы, подчиняясь законам природы, реализуют объективные цели.

Во-вторых, это проясняет причину того, что не всякая субъективная цель достижима. Дело в том, что не только нехватка или неверное использование имеющихся ресурсов может стать причиной неудачи. Главным условием достижения субъективной цели является ее принадлежность к числу объективных целей: осуществимы лишь цели, могущие стать реальностью. Как выразился С. Лем, если человек и может достичь любых целей, то не любым образом.

Одна из причин появления недостижимых субъективных целей состоит в том, что субъективные цели — порождение воображения, а объективные есть результат проявления законов природы. Ограничения на мысленные конструкции гораздо слабее ограничений на возможные реальные события. Можно вообразить прекрасное существо — полудевушку-полурыбу — русалку или не менее красивое существо — полумужчину-полуконя — кентавра, но природа не позволяет реализовать их появление.

Важно установить реализуемость субъективной цели до начала попыток реализовать ее. Нежелание зря тратить усилия и ресурсы позволило бы не заниматься осуществлением недостижимой цели. Пока у нас есть только один критерий недостижимости — противоречие законам природы (например, цель создания вечного двигателя). Но иногда мы не можем привести законы природы, препятствующие достижению цели (например, цели создания искусственного интеллекта; и хотя успехи в этом далеки от ожиданий, усилия не кажутся напрасными).

Есть, однако, один тип заведомо недостижимых целей, которые не считаются недостойными стремления к ним. Такие цели называются *идеалами*. Особенность идеала состоит в том,

что хотя он заведомо недостижим, но привлекателен, а главное — допускает приближение к нему. Примеры: гармонически развитая личность; стремление неограниченно повышать спортивные достижения; познание все большего числа языков; в общем, стремление к совершенству в любом отношении.

#### 2.4. Заключение (системная картина мира)

Итак, в данной главе сделана попытка представить мир как мир систем, взаимодействующих между собой, содержащих в себе меньшие системы, входящие как части в большие системы, каждая из которых непрерывно изменяется и стимулирует к изменениям другие системы.

Из бесконечного числа свойств систем выделено двенадцать присущих всем системам. Они выделены по признаку их необходимости и достаточности для обоснования, построения и доступного изложения технологии прикладного системного анализа.

Но очень важно помнить, что каждая система отличается от всех других. Это проявляется, прежде всего, в том, что каждое из двенадцати общесистемных свойств в данной системе воплощается в индивидуальной форме, специфической для этой системы. Кроме того, помимо указанных общесистемных закономерностей, каждая система обладает и другими, присущими только ей свойствами.

Прикладной системный анализ нацелен на решение конкретной проблемы. Это выражается в том, что с помощью общесистемной методологии он технологически направлен на обнаружение и использование индивидуальных, часто уникальных особенностей данной проблемной ситуации.

Для облегчения такой работы можно употребить некоторые классификации систем, фиксирующие тот факт, что для разных систем следует использовать разные модели, разную технику, разные теории. Например, Р. Акофф и Д. Гарайедаги предложили различать системы по соотношению объективных и субъективных целей у частей целого: системы технические, человеко-машинные, социальные, экологические. Другая полезная классификация, по степени познанности систем и формализованности моделей, предложена У. Чеклендом: «жесткие» и «мягкие» системы и соответственно «жесткая» и «мягкая» методологии, обсужденные в главе 1.

Итак, можно сказать, что системное видение мира состоит в том, чтобы, понимая его всеобщую системность, приступить

к рассмотрению конкретной системы, уделяя основное внимание ее индивидуальным особенностям. Классики системного анализа сформулировали этот принцип афористически: *«Думай глобально, действуй локально»*.

### Контрольные вопросы и задания

1. Что такое статические свойства систем? Перечислите четыре статических свойства.
2. Как из открытости систем вытекает факт всеобщей взаимосвязанности в природе?
3. Что называется моделью черного ящика? Назовите четыре рода ошибок, которые можно совершить при построении модели черного ящика.
4. Что называется моделью состава системы? Каковы (три) трудности ее построения?
5. При каких предположениях можно говорить о наличии частей у системы?
6. Как определяется граница системы?
7. Что называется моделью структуры системы? В чем трудности ее построения?
8. Что такое динамические свойства систем? Перечислите их (все четыре).
9. Поясните различие между ростом и развитием системы.
10. Что мы называем синтетическими свойствами систем? Перечислите четыре таких свойства.
11. Какое из статических свойств системы обеспечивает существование эмерджентных свойств системы?
12. Что называется субъективной целью?
13. Что понимается под объективной целью системы?
14. Почему не любая субъективная цель достижима?
15. Дайте определение следующим понятиям:
  - целостность системы;
  - открытость системы;
  - черный ящик;
  - ошибка первого (второго, третьего, четвертого) рода;
  - модель состава системы;
  - подсистема;
  - элемент системы;
  - модель структуры системы;
  - функция системы;
  - стимулируемость систем;



- функционирование;
- рост (спад);
- развитие (деградация);
- жизненный цикл;
- эмерджентность;
- ингерентность;
- цель субъективная;
- цель объективная.

## МОДЕЛИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

### 3.1. Моделирование — неотъемлемая часть любой деятельности

Субъект, существуя в реальном мире, взаимодействует с ним, осуществляет ту или иную деятельность. Все возможные виды деятельности можно разбить на два типа: познание мира и преобразование его (рис. 3.1). Важно понять, что любая деятельность субъекта становится возможной только благодаря *моделям* — системам, специфика которых направлена на обеспечение взаимодействия между субъектом и реальностью. Модели играют роль своеобразного посредника между ними.



Рис. 3.1

Моделирование не является таким действием, которое можно делать, а можно и не делать: моделирование есть неизбежная, обязательная часть любой деятельности человека (и не только

человека, но это разговор отдельный). Покажем это для обоих типов деятельности.

Начнем с преобразовательной. Что бы человек ни делал, изменяя реальность, еще до начала самой работы он должен определить цель, образ желаемого будущего, т.е. модель того, чего пока нет, но что хотелось бы осуществить, что должно появиться в конце работы. Это первый аргумент о необходимости моделирования. Но это еще не все: для достижения конечного результата необходимо выполнить определенную последовательность промежуточных действий, а для того, чтобы их правильно выполнить, нужно еще до начала работы *описать* эту последовательность, т.е. создать модель (план, алгоритм) хода работы. Таким образом, преобразовательная (трудовая, управленческая) деятельность невозможна без моделирования.

Теперь о познавательной деятельности. Конечный результат познания — полученная информация о внешней среде — должен быть зафиксирован, описан, представлен в виде определенной модели. Знания вообще существуют только в форме моделей, т.е. *модель есть форма существования знаний*. Конечной целью познания является построение моделей интересующей нас части мира. Но не только поэтому познание невозможно без моделирования. Важно также, что и сам процесс получения информации извне происходит с помощью специальных моделей. Это только кажется, что стоит открыть глаза и информация сама хлынет через них. Во всех языках различаются понятия «смотреть» и «видеть». Можно смотреть и не увидеть, можно видеть то, чего на самом деле нет. Врач, осматривающий пациента, обращает внимание на такие внешние признаки, которые ничего не говорят неспециалисту. С помощью гипноза или использования эффектов обмана зрения можно заставить человека увидеть несуществующее. Все это происходит благодаря тому, что информация световых сигналов обрабатывается нашими моделями, прежде чем достичь состояния, осознаваемого как зрительный образ. Это относится не только к зрению, но и ко всем остальным чувствам, являющимся каналами связи субъекта со средой. Необходимо напомнить, что субъект одновременно является объектом. Объект «напрямую» взаимодействует со средой, а субъект — только через модели. Например, потрогав горячую плиту, вы обожжетесь как объект. Но если подменить ваши модели гипнозом или наркотиком, вы не будете ничего чувствовать. Еще более нагляден известный психологический опыт, когда у человека, убежден-

ного, что утюг горячий, возникает ожоговый волдырь после прикосновения к нему, хотя на самом деле утюг холодный.

Итак, любая деятельность субъекта, любое его взаимодействие с внешним миром происходят посредством моделей, хотя как объект он непосредственно связан с окружающей средой (рис. 3.2).

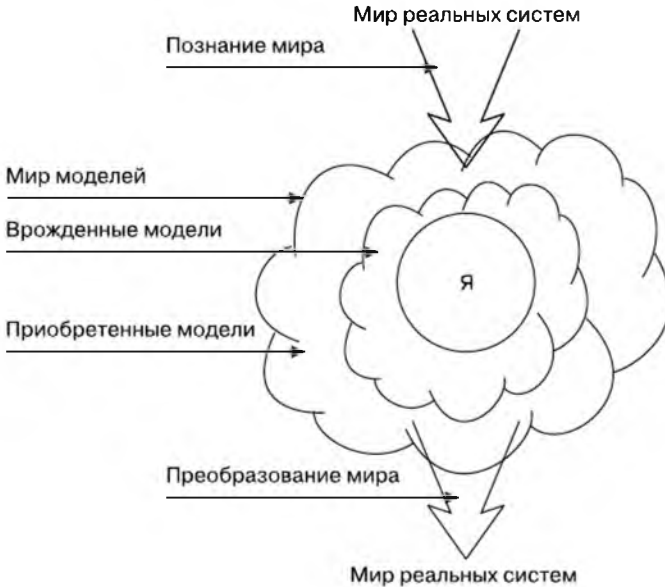


Рис. 3.2

Мир моделей субъекта начинает наращиваться на базе врожденных моделей путем извлечения информации из опыта жизни. А поскольку и врожденные модели у разных индивидов разные (особенно трудно родившимся с дефектами), и личный жизненный опыт протекает сугубо индивидуально, то и построенный к настоящему времени мир моделей у каждого субъекта уникален. А это означает, что каждый видит, воспринимает и оценивает мир по-своему. (Конечно, это не значит, что между субъектами нет ничего общего; наоборот, многие их модели могут быть совпадающими или совместимыми.) Это многообразие индивидуальных миров играет существенную роль в обществе и должно учитываться при работе с людьми.

Установив чрезвычайную важность моделирования в жизни субъекта, перейдем далее к рассмотрению того, как строятся модели, а затем и к обсуждению важных для нас свойств различных моделей.

### 3.2. Анализ и синтез как методы построения моделей

Пусть нам надо познать, понять некоторую сложную для нас систему, т.е. перевести ее из сложной и малопонятной в простую и понятную. Это значит, что нам следует построить модель этой системы, содержащую нужную нам информацию. В зависимости от того, что нам требуется узнать, объяснить — как система устроена или как она взаимодействует со средой, различают два метода познания: 1) аналитический; 2) синтетический.

Процедура анализа состоит в последовательном выполнении следующих трех операций:

- 1) сложное целое расчлнить на более мелкие части, предположительно более простые;
- 2) дать понятное объяснение полученным фрагментам;
- 3) объединить объяснение частей в объяснение целого.

Если какая-то часть системы остается все еще непонятной, операция декомпозиции повторяется и мы вновь делаем попытку объяснить новые, еще более мелкие фрагменты (рис. 3.3). На схеме объясненные объекты заштрихованы. (В некоторых случаях анализ отдельной ветви может «затягиваться», так и не дойдя до объяснимого фрагмента. Это признак отсутствия знания, способного сделать фрагмент элементарным. Позитивным знанием в этом случае является обнаружение того, какого именно знания нам не хватает.)

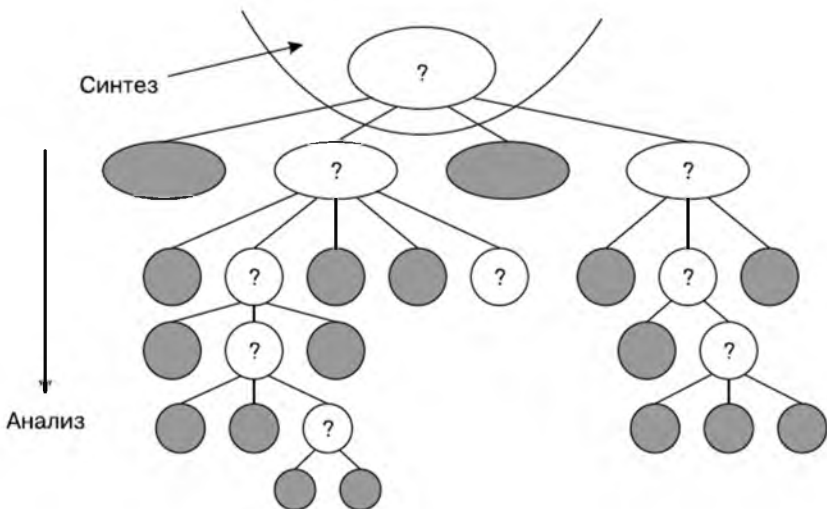


Рис. 3.3

Полученные знания представляются в виде моделей нашей системы. Первым продуктом анализа является, как это видно из схемы, перечень элементов системы, т.е. *модель состава системы*.

Самая серьезная ловушка анализа состоит в опасности разорвать связи частей при декомпозиции, разрушив тем самым эмерджентные свойства системы. Так что правильный, качественный анализ должен осуществлять различение частей, а не разбиение на части при декомпозиции. Иначе нельзя будет выполнить последнюю операцию анализа: объяснение целого невозможно только через объяснение частей. Объяснить целое — значит установить его эмерджентные свойства, а для этого необходимо установить (или восстановить) связи между частями. Таким образом, вторым продуктом анализа является *модель структуры системы*. Третий продукт анализа — *модель черного ящика* для каждого элемента системы.

Итак, в результате анализа мы получаем информацию об устройстве и работе системы. Вся полученная информация «упакована» в виде всех трех типов моделей: состава, структуры, черного ящика.

Аналитический метод дал замечательные результаты познания мира человеком. Вся структура наших знаний имеет иерархический характер: единый мир разбивается на отдельные области, избранные предметом исследований разными науками: физикой, химией, историей и т.д. В каждой науке тоже своя аналитическая организация. В каждой области знаний дело доводится до элементов, из которых образуются все объекты ее исследования: элементарные частицы в физике, молекулы в химии, фонемы в звуковой и символы в письменной речи, клетки в биологии, ноты в музыке и т.д. Успехи аналитического метода так значимы, что сложилось даже впечатление, будто это — единственный научный метод (часто в речи слова «изучить» и «проанализировать» используются как синонимы).

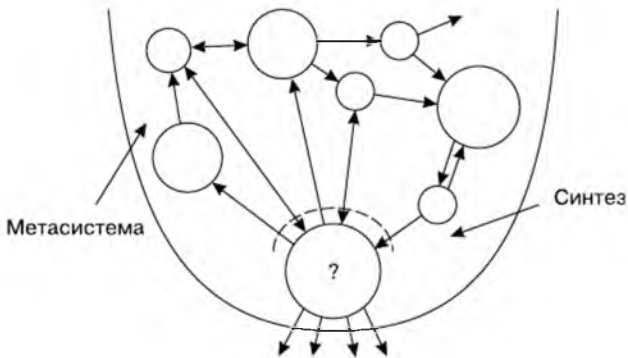
Однако есть вопросы, на которые анализ в принципе не может ответить, так как ответ лежит не во внутреннем устройстве системы.

Попробуйте путем любого (химического, физического, художественного) анализа выяснить, в чем сила и значение денежной купюры. Вы можете досконально изучить анатомию человека, но не объясните, почему природа создала два пола. Можно подробно исследовать устройство часов, но это не даст ответа, зачем они нужны. Изучение структуры автомобиля не даст ответа, почему в Англии принято левостороннее движение.

Ответы на вопросы такого рода дает *синтез*.

Синтетический метод состоит в последовательном выполнении трех операций:

- 1) выделение большей системы (метасистемы), в которую интересующая нас система входит как часть;
- 2) рассмотрение состава и структуры метасистемы (ее анализ);
- 3) объяснение роли, которую играет наша система в метасистеме, через ее связи с другими подсистемами метасистемы (рис. 3.4). Конечным продуктом синтеза является знание связей нашей системы с другими частями метасистемы, т.е. *модель черного ящика*. Но чтобы ее построить, нам пришлось попутно создать модели *состава и структуры* метасистемы как побочные продукты. И снова мы видим, что все полученные нами знания «упакованы» в три известных формы моделей: черного ящика, состава и структуры. Ясно, что качество синтеза напрямую зависит от качества модели метасистемы, о чем следует особо позаботиться.



Анализ (см. рис. 3.3)

Рис. 3.4

Анализ и синтез не противоположны, а дополняют друг друга. Более того, в анализе есть синтетический компонент, а в синтезе — анализ метасистемы. Что из них или в какой последовательности их применять в конкретном случае — решать самому исследователю.

### 3.3. Что такое модель?

Мы уже сформулировали два определения модели. Первое: *модель есть средство осуществления любой деятельности субъекта*. Второе: *модель есть форма существования знаний*. Можно несколько до-

полнить каждое из этих определений указанием на то, что модель — тоже система, со всеми описанными в главе 2 общесистемными свойствами. Отличительная особенность моделей от других систем состоит (в дополнение к тому, что говорят два определения) в их предназначенности отображать моделируемый оригинал, заменять его в определенном отношении, т.е. содержать и представлять информацию об оригинале. Выразим эту мысль в виде еще одного общего определения: *модель есть системное отображение оригинала*.

Все три определения носят очень общий, можно сказать, философский характер. Для дальнейшего нам понадобится конкретизация типов моделей и их характерных свойств. Как мы уже знаем, уточненные описания модели можно сделать с помощью анализа и синтеза.

### 3.4. Аналитический подход к понятию модели

Аналитический подход направлен на выяснение, из чего состоит рассматриваемая система. Первую декомпозицию сделаем, отметив, что есть два типа материалов, из которых создаются модели: средства мышления и материальные средства — предметы и вещества. Соответственно этому модели разделяются на *абстрактные* и *реальные* (рис. 3.5).



Рис. 3.5

Продолжим анализ и осуществим декомпозицию ветви «абстрактные» модели. Из чего и как они строятся? Ответ на этот вопрос означал бы, что мы объяснили, как происходят мыслительные процессы. Но мышление является столь сложным, столь мало познанным явлением, что на очередном шаге декомпозиции у нас в основном оказываются необъяснимые фрагменты (рис. 3.6): большинство проявлений мышления, отмеченных в нашей схеме (и вовсе не исчерпывающих его проявлений), не поддается объяснениям, отвечающим научным стандартам завершенности.

Более определенно мы можем говорить об абстрактных моделях, которые являются как бы конечным продуктом мышления, приготовленным для передачи другим субъектам. Это модели, во-



площенные средствами языка: они поддаются регистрации (тексты, аудиозаписи) и могут изучаться как объекты, отчужденные от непосредственно мышления, но являющиеся его продуктами, содержащими информацию о нем.



Рис. 3.6

Роль языка в жизни общества невозможно переоценить: он не только средство общения, но и носитель культуры, и средство организации, управления, и основной компонент мира моделей субъекта. Языкознание является одной из самых сложных естественных наук (которую почему-то относят к гуманитарным).

Мы обратим внимание на те особенности языка, которые потребуются для обоснования и использования технологии прикладного системного анализа.

Главная для нас особенность — то, что язык является *универсальным* средством моделирования: говорить можно о чем угодно. Из многих свойств языка, обеспечивающих ему это свойство, обратим внимание на *расплывчатость смысла слов*.

Приведем пример словесной модели некоторой ситуации. «В комнату вошел высокий красивый молодой человек, неся тяжелый сверток». Так и видится реальная картина. Но «высокий» — какого именно роста? «Молодой» — а сколько ему лет? Не говоря уж о том, что такое «красивый». «Тяжелый» — какого веса? Практически ни одно слово естественного языка не имеет точного смысла. Можно привести аналогию: «смысл» конкретной ситуации — точка, «смысл» слова — облако. Описывая конкретную ситуацию, мы как бы обволакиваем точку облаками, понимая, что истина где-то в середине этого скопления. В большинстве случаев, особенно в быту, такого приблизительного, расплывчатого описания бывает достаточно для действий, часто успешных. В некоторых видах деятельности такая расплывчатость сознательно используется как важный позитивный фактор: поэзия, юмор, политика, дипломатия, мошенничество...

Однако в случаях, когда необходимо произвести конкретный продукт, достичь конкретного результата, этой конкретности начинает мешать расплывчатость бытового языка. И тогда те, кто занимается конкретной деятельностью, изживают мешающую неопределенность, вводя в язык более точные термины. У всякой группы с ее общими целями вырабатывается свой, специфический язык, обеспечивающий нужной точностью эту деятельность. У скотоводческого африканского племени масаев есть сотни терминов для характеристики коров; у северных народов — множество терминов, определяющих состояние снега; на своих языках разговаривают физики, медики, юристы; уголовники «ботаут по фене»; молодежь говорит на слэнге, не понятном для взрослых; лондонские «низы» разговаривают на «кокни».

Общий вывод: всякая групповая деятельность требует выработки специального, более точного, чем разговорный, языка; условно назовем его *профессиональным*.

Профессиональные языки более точны, чем разговорный, за счет большей определенности их терминов. Важно осознать, что снятие неопределенности может быть осуществлено только за счет новой, *дополнительной информации*.

Таким образом, увеличение точности смысла языковых моделей идет за счет добывания и включения в язык все новой и новой информации о предмете интереса.

Есть ли предел этому процессу уточнения? Есть, и это язык математики, в котором термины максимально точны, однозначны. Правда, полностью изжить неопределенность невозможно, иначе было бы невозможно о бесконечности мира говорить конечными фразами. Есть несколько (и не только вспомогательных, но и базовых) понятий в математике, имеющих расплывчатый смысл: «приблизительно равно», «значительно больше (меньше)», «бесконечно мало (велико)», «неопределенно» и т.д. И все же математический язык является крайним, самым точным справа в спектре языков описания реальности (рис. 3.7).

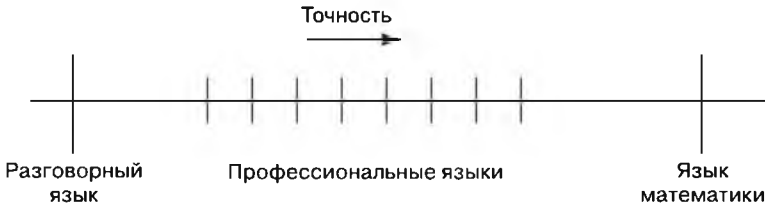


Рис. 3.7

Теперь мы можем оценить слова Канта, которые повторяли и интерпретировали многие философы, о том, что всякая область знаний тем больше может претендовать на звание науки, чем больше она пользуется математическими моделями.

То, что какая-то наука недостаточно математизирована (история, биология, медицина, психология, политология и т.п.), означает лишь то, что ее объект столь сложен, столь мало изучен, что до математической точности ей еще далеко. Но есть перспектива.

Для полноты картины отметим еще одну особенность языков. Культура индивида (мир его моделей) образуется из взаимодействия его врожденных моделей и культуры его социальной среды, в том числе (а возможно, и в первую очередь) языков, входящих

в эту культуру. Здесь проявляется свойство ингерентности, совместимости внутренней и внешней культур. Случается, что их полного согласования достичь не удается: генетики доказали, что иногда неспособность научиться грамотно говорить и писать заложена в генах субъекта; человек, не имеющий абсолютного слуха, при всем старании не может полностью познать язык музыки; люди с преобладающим «правополушарным» мышлением испытывают своего рода аллергию к математике; люди, в зрелом возрасте попавшие в эмиграцию, испытывают чувство ностальгии и т.п. Однако языков так много, что каждый находит возможность сформировать свою культуру так, чтобы в каком-то отношении обеспечить свое посылно успешное взаимодействие с окружающей средой.

Для дальнейшего важны два момента:

1) имеется спектр языков разной степени определенности и, следовательно, ему соответствует спектр моделей разной степени точности;

2) одной из главных особенностей прикладного системного анализа является попытка, старание развить описание проблемной ситуации, представленное клиентом, в сторону все более и более точного описания проблемной ситуации, от ее первоначального «рыхлого» описания в сторону «жесткого». Часто до математического описания дело не доходит за ненадобностью: проблема может быть решена и при не очень точном определении условий. Но важна тенденция включения в модель все новой и новой информации, пока ее не окажется достаточно для решения проблемы; важен сам факт движения в сторону уточнения.

Сделаем теперь еще один акт декомпозиции, попытаюсь добраться до элементарных абстрактных моделей. Очевидно, что к числу элементарных языковых моделей относятся *слова*. Что же является оригиналом для слова-модели?

### **3.5. Классификация — простейшая абстрактная модель разнообразия реальности**

Пожалуй, главное назначение языка — описывать, отображать бесконечно разнообразный мир. В мире нет абсолютно одинаковых объектов. Даже если считать, например, электроны тождественными по своим электрическим и механическим свойствам (хотя имеются основания утверждать, что это не совсем так: закон их распределения, выведенный из предположения об их идентичности, в эксперименте не совсем точно выполняется) — они отличаются хотя бы координатами. Как же описывать бес-

конечно разнообразный мир конечными фразами? Выход один — делать это огрубленно, приблизительно, упрощенно.

Первый шаг упрощения основан на том, что все объекты различны, но одни отличаются друг от друга «слабо», «мало», «незначительно», другие — «сильно», «существенно» (обратите внимание на оценочность этих терминов). Идея теперь состоит в том, чтобы объединить все мало различающиеся объекты в одну группу, оставив вне ее все сильно различающиеся.

Второй шаг упрощения состоит в том, чтобы отказаться от учета различий внутри группы, пренебречь малыми отличиями, считать членов группы одинаковыми. Такую группу принято называть *классом*.

Оставшиеся вне класса объекты тоже разнообразны, и хотя «сильно» отличаются от тех, которые вошли в класс, по некоторым другим признакам снова оказываются между собой «похожими» либо «различными». Это дает возможность выделить новые классы похожих внутри них и отличающихся от других классов.

В итоге бесконечно разнообразный мир описывается конечным множеством отличающихся друг от друга классов.

Для выражения различий между классами им присваиваются различные имена (названия, обозначения, символы, номера и т.п.). Эти имена и есть слова некоторого языка. Деревья (*все деревья*), животные (тоже *все*), люди, здания, насекомые, реки и т.д. — примеры имен классов. Классифицировать можно не только объекты, но и свойства (цвета, звуки, силы, размеры и т.д.), и процессы (ходить, бегать, тянуть, есть, пить и т.д.). Таким образом, слова языка есть названия некоторых классов. *Классификация есть простейшая абстрактная модель разнообразия действительности.*

Распознавание, идентификация объекта в данном случае состоит в выяснении того, к какому классу он принадлежит (какое имя он должен носить).

При построении моделей субъект имеет простор для неформальных, творческих действий.

Во-первых, необходимо выбрать характеристику, параметр, меру различия между объектами. Множественность характеристик является одной из причин множественности классификаций. Особый (и нетривиальный) вопрос — классификация не по одному, а по нескольким признакам.

Во-вторых, от конкретизации оценочных понятий «слабых» и «сильных» различий зависят число различаемых классов и задание границ между ними.

Важно помнить, что *любая* классификация есть только *модель* разнообразия реальности, что реальность более сложна, что всегда найдется объект, который нельзя однозначно отнести к тому или иному классу.

### 3.6. Искусственная и естественная классификации

Различают два вида классификаций: *искусственную* и *естественную*.

При искусственной классификации разделение на классы производится «так, как надо», т.е. исходя из поставленной цели — на столько классов и с такими границами, как это диктуется целью. Например (это научные данные), крестьянские семьи в 20-е гг. XX в. в Сибири отличались по зажиточности  $q$  согласно «колоколообразному» распределению (рис. 3.8) — таково было их разнообразие. Для некоторых целей было введено разделение крестьян на три класса: бедняки, середняки, кулаки, что упрощенно описывало их разнообразие. Однажды на основе этой модели большевики поставили задачу «ликвидировать кулачество как класс» и реализовали эту цель. Характерно, что граница между классами была определена нечетко, что только усилило произвол. Не зря искусственную классификацию называют еще *произвольной*.

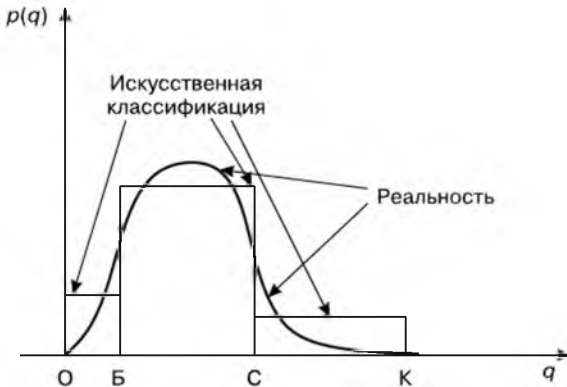


Рис. 3.8

Несколько иначе производится классификация, когда рассматриваемое множество явно неоднородно (рис. 3.9). Природные группировки (их в статистике называют кластерами) как бы напрашиваются быть определенными как классы, что и приве-

дено на рис. 3.9 (отсюда название классификации *естественная*). Однако следует иметь в виду то, что и естественная классификация — это лишь упрощенная, огрубленная модель реальности. Например, кажущееся очевидным деление объектов на «живые» и «мертвые» наталкивается на трудности в определении законности изъятия органов из умершего человека для их пересадки живому: не всегда очевидно, что пострадавший не может быть возвращен к жизни. Пример — «очевидное» деление людей на мужчин и женщин. Мало того, что иногда рождаются гермафродиты; иногда (по статистике 4%) индивид из-за перепутавшихся в нем био-хемо-психологических процессов сам не в состоянии однозначно отнести себя к тому или иному полу. Олимпийскому комитету однажды пришлось ввести генетический тест в женских силовых видах спорта, так как одна из абсолютных чемпионки мира по структуре хромосом оказалась мужчиной (при всех внешних признаках женщины, хоть и грубоватой).



Рис. 3.9

Являясь простейшей моделью, классификация лежит в основе других, более сложных абстрактных моделей. Это достигается как увеличением числа классов, так и введением все новых и новых соотношений между классами.

В ряде случаев указанные недостатки однозначной классификации становятся неприемлемыми. Разработаны два типа обобщения классификации: статистическая и расплывчатая.

При классификации случайных объектов или величин вводят понятие перекрытия распределений и связывают ошибки классификации с этим перекрытием. В качестве примера на рис. 3.10 изо-

бражено разбиение границей  $C$  величины  $X$  на классы  $X_1$  и  $X_2$ , связанные с распределениями  $p_1(x)$  и  $p_2(x)$ . (Заштрихованные области равны вероятностям ошибок.)

Иной тип неопределенности классификации описывается теорией расплывчатых (нечетких) множеств. Эта теория основана на допущении принадлежности одного объекта одновременно к разным классам. В этой модели не существует четкой границы между классами. Можно лишь говорить о степени принадлежности данного объекта к тому или иному классу. Эта степень выражается *функцией принадлежности*, принимающей значение от 0 («точно не принадлежит») до 1 («точно принадлежит»). Например, классификация чисел на «малые», «средние» и «большие»: некоторое число может принадлежать одновременно ко всем введенным классам, хотя и в разной степени (т.е. с различными значениями функции принадлежности  $N_A(n)$ ) (рис. 3.11).

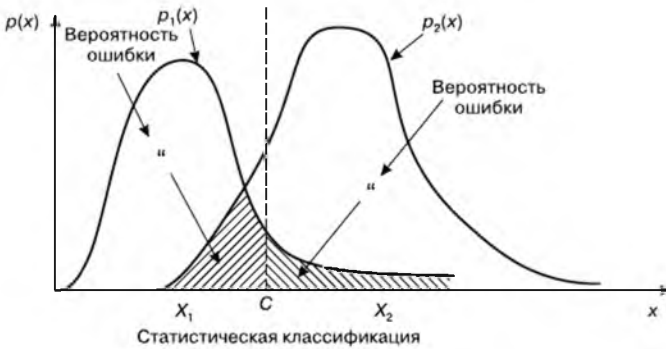


Рис. 3.10



Рис. 3.11



На этом закончим рассмотрение абстрактных моделей, так как имеющегося ограниченного знания о них нам достаточно для изложения последующего материала.

### 3.7. Реальные модели

Второй класс моделей образуют реальные предметы, используемые в качестве моделей. Аналитический прием классификации по происхождению подобия между моделью и оригиналом приводит к трем типам реальных моделей.

Первый тип назовем моделями *прямого подобия*. Прямое подобие между моделью и оригиналом устанавливается вследствие их непосредственного взаимодействия (следы, отпечаток пальца, печать и т.д.) либо вследствие цепочки таких взаимодействий (фотография, макет здания и т.п.).

Второй тип — модели *косвенного подобия*, или аналогии. Похожесть, аналогичность двух явлений объясняется совпадением закономерностей, которым они подчиняются. Абстрактные модели (теории) двух явлений могут «перекрываться», а это приводит к похожести данных явлений. Поэтому наблюдая одно из них, можно высказать суждение о другом (см. рис. 3.12: О — «объект», М — «модель»). Примером служит электромеханическая аналогия: закон Ньютона  $F=ma$  и закон Ома  $U=RI$  структурно идентичны. Это дает возможность отображать механические системы электрическими, с которыми проще, удобнее работать. В тело многих зданий и сооружений (мостов, башен) закладываются пьезодатчики, соединенные с электрической моделью сооружения. Это позволяет судить о его состоянии и принимать решение об обслуживании. Другие примеры аналогий — подчиненность закону Кирхгофа токов в электросетях, потоков воды в трубопроводах, информации в сетях связи, транспорта на улицах города. На электрической модели можно отрабатывать оптимальные структуры и управление для соответствующих сетей. Моделями косвенного подобия являются: аналоговые ЭВМ, следственный эксперимент в криминалистике, исторические параллели, жизни разлученных однойцовых близнецов, подопытные животные в медицине и т.д.

Однако следует осторожно пользоваться аналогиями, поскольку, кроме совпадающих закономерностей, у разных явлений есть и несовпадающие. Поэтому не все заключения о модели можно переносить на оригинал, не все особенности оригинала содержатся в модели — аналоге. Иногда вводится понятие «сила

*аналогии*», связанное со степенью «перекрывтия» сравниваемых теорий.

Третий тип реальных моделей основан на подобии, которое не является ни прямым, ни косвенным. Например, буквы — модели звуков; деньги — модели стоимости; различные знаки, сигналы, символы, карты, чертежи содержат соответствующую информацию. Соответствие такой модели и оригинала устанавливается в результате соглашения между ее пользователями, носит культуральный, условный, информационный характер. Назовем такие модели *моделями условного подобия*. Они успешно работают, но лишь до тех пор, пока известны и соблюдаются договоренности, соглашения о их значении (денежная реформа, мертвые языки, секретные знаки и т.п.).

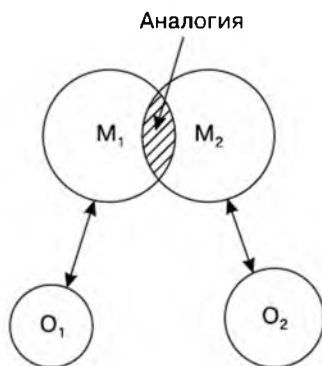


Рис. 3.12

Дальнейшее аналитическое рассмотрение множества всех реальных моделей не удастся довести до определения общих элементов: слишком велико разнообразие предметов, используемых в качестве моделей. Можно, конечно, выделить элементы конкретной реальной модели (например, географической карты), но выводы будут иметь частный характер.

### 3.8. Синтетический подход к понятию модели

В соответствии с синтетическим методом объяснение природы моделей начинается с определения метасистемы, в которой модель является частью. Начать выделение метасистемы моделирования можно с введенного выше определения модели как отображения оригинала. Это определение уже выделило два элемента метасистемы: модель и моделируемый оригинал.

Важная особенность модели состоит в том, что модель никогда не тождественна оригиналу (даже когда стараются этого достичь — фальшивые банкноты, копии произведений искусства и прочие подделки). Часто в этом просто нет необходимости: каждая модель нужна для определенной цели, а для этого требуется лишь некоторая (далеко не вся) информация об оригинале.

Целевая предназначенность моделей имеет ряд важных следствий.

Первое состоит в том, что цель моделирования определяется неким субъектом, который, следовательно, должен быть включен как еще один элемент в состав метасистемы.

Разнообразие целей ведет к множественности различных моделей для одного и того же оригинала. Например, нас не должно озадачивать наличие нескольких разных определений чего-то; разных показаний свидетелей одного и того же события и т.д. В качестве примера множественности моделей одного объекта можно привести, что для описания разных отношений между субъектами в прикладном системном анализе рассматриваются три типа идеологий (см. гл. 1), а политологу Р. Эпперсону потребовалось различать следующие пять типов правления в обществе.

Правление никого: анархия.

Правление одного человека: диктатура или монархия.

Правление немногих: олигархия.

Правление большинства: демократия.

Правление закона: республика.

Модели явления могут даже противоречить друг другу (как корпускулярная и волновая теории света). Модели можно различать по типу целей. К примеру, полезной бывает классификация моделей на *познавательные* и *прагматические*.

Познавательные модели обслуживают процессы получения информации о внешнем мире, они представляют имеющиеся знания, подвержены изменениям при присоединении к ним новых знаний. Познавательные модели (рис. 3.13) не претендуют на окончательность, завершенность: всегда остается что-то непознанное. В познавательной практике принято терпимо относиться к отличающимся и даже противоречивым мнениям. Научные модели подвергаются постоянному сомнению и проверке на правильность, непрерывно уточняются и развиваются.

Продолжая рассмотрение отношений между моделью и оригиналом, остановимся на содержании информации в модели.

Оригинал и модель — разные вещи. В оригинале есть много такого, чего нет в модели, по двум причинам: во-первых, не все из того, что известно об оригинале, понадобится включить в модель, предназначенную для достижения конкретной цели (зона *A* на рис. 3.13 изображает известное, но ненужное, в том числе ошибочно сочтенное ненужным и не включенное в модель); во-вторых, в оригинале есть всегда нечто непознанное, поэтому не могущее быть включенным в модель (зона *B* на рис. 3.13). Зона 2 на рисунке изображает информацию об оригинале, включенную в модель. Это *истинная* информация, то общее, что имеется у модели и оригинала, благодаря чему модель может служить его (частным, специальным) заменителем, представителем. Обратим внимание на зону 3. Она отображает тот факт, что у модели всегда есть собственные свойства, не имеющие никакого отношения к оригиналу, т.е. *ложное* содержание. Важно подчеркнуть, что это относится к любой модели, как бы ни старался создатель модели включить в нее только истину.

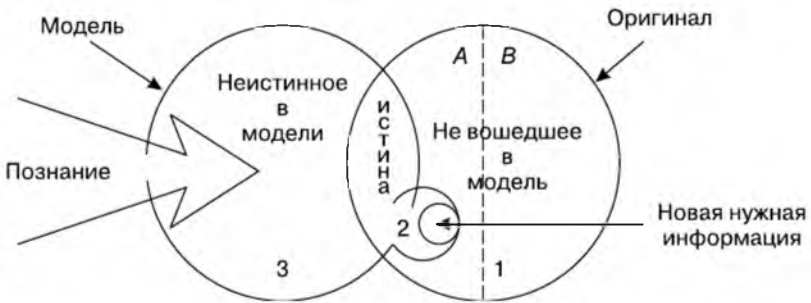


Рис. 3.13

Например, аналитическая функция времени как модель сигнала отображает тот факт, что сигнал — это некоторый временной процесс. Но эта модель не отражает того, что повторный сигнал уже не несет той информации, что в первый раз. Эта модель не обладает свойством реальных сигналов одновременно занимать конечный интервал времени и конечную полосу частот. Во многих (а если присмотреться — во всех) теориях особенность модели содержать ложную информацию проявляется в виде так называемых парадоксов. Например, в теориях электростатики и гравитации парадоксы бесконечности возникают при нулевых расстояниях.

Прагматические модели обслуживают процессы преобразования реальности в соответствии с целями субъекта. Они ото-

бражают пока несуществующее, но желаемое (проекты, планы, программы, алгоритмы, нормы права и т.д.), и имеют нормативный, директивный характер. Это придает им статус «единственно верных», что ярко выражено в религиях, морали, стандартах, технических чертежах, технологиях и т.д. В отличие от познавательных моделей, «подгоняемых» к реальности, в преобразовательной деятельности реальность «подгоняется» под прагматическую модель (рис. 3.14).

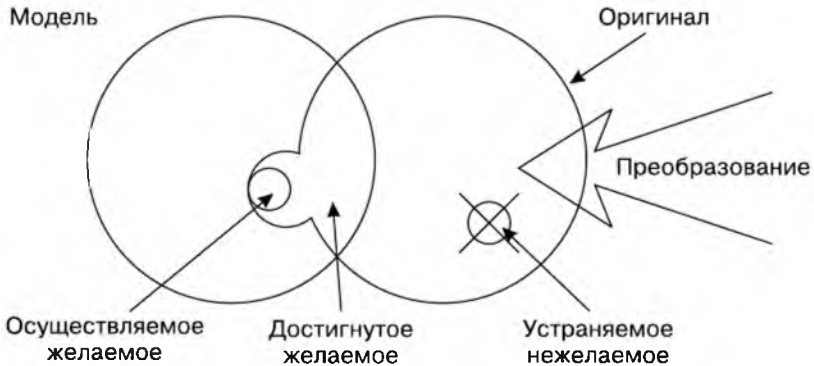


Рис. 3.14

Закончим рассмотрение отношений между оригиналом и моделью подчеркиванием неточности, приблизительности модели. Даже те аспекты оригинала, которые намеренно отображаются, описываются с некоторой точностью, приближенно. Иногда приблизительность носит вынужденный характер (нехватка знаний), а иногда вводится сознательно, ради упрощения работы с моделью (например, линеаризация нелинейных отношений между переменными).

### 3.9. Понятие адекватности

Иногда одну и ту же цель можно попытаться достичь с помощью разных моделей (например, идти по туристическому маршруту, ориентируясь по картам разного масштаба). При этом оказывается, что разные модели обеспечивают разную степень успешности в достижении цели. Это свойство моделей назовем *степенью их адекватности*. Часто достаточно эту степень грубо поделить на два уровня: будем называть модели, используя которые субъект успешно достигает цели, *адекватными*, а не обеспечивающие успеха — *неадекватными*.

Интересно обсудить отношение между такими свойствами моделей, как их адекватность и истинность. Оказывается, они не всегда совместны.

Для познавательных моделей, целевая принадлежность которых — накопление истинных знаний об окружающей действительности, адекватность и истинность являются, по существу, синонимами. Иначе обстоит дело с моделями прагматическими. Как уже отмечалось, каждому из нас приходилось говорить неправду. Спросив себя, почему тогда ложь была предпочтена правде, мы обнаруживаем, что поставленная цель достигалась проще и легче с помощью лжи, нежели истины. Таким образом, в некоторых обстоятельствах ложные модели могут быть адекватными (иначе ложь вообще была бы не нужна).

### 3.10. Согласованность модели с культурой

Нельзя прочесть книгу на незнакомом языке; невозможно прослушать запись на грампластинке без патефона; пятикурсник не понял бы спецкурса без знаний, полученных ранее. Подобные примеры иллюстрируют тот факт, что для того, чтобы модель реализовала свою модельную функцию, недостаточно только наличия самой модели. Необходимо, чтобы модель была совместима, согласована с окружающей средой, которой для модели является культура (мир моделей) пользователя. Это условие при рассмотрении свойств систем названо ингерентностью: *ингерентность модели культуре* является необходимым требованием для осуществления моделирования. Степень ингерентности модели может изменяться: возрастая (обучение пользователя, появление адаптера типа розеттского камня и т.п.) или убывая (забывание, уничтожение культуры) за счет изменения среды или самой модели.

Таким образом, в состав метасистемы моделирования должен быть включен еще один элемент — культура. В итоге схема метасистемы может быть представлена рис. 3.15. В соответствии с методикой синтеза для объяснения того, что такое модель, необходимо обсудить связи модели с остальными частями метасистемы моделирования. Это и было предметом вышеприведенных рассуждений. При этом мы выделили лишь те связи, которые существенны для последующего изложения технологии прикладного системного анализа. Остальные связи между элементами метасистемы могут быть предметом специального рассмотрения и на самом деле рассматриваются различными науками.

### 3.11. Иерархия моделей

Итак, любая деятельность субъекта основана на использовании моделей, т.е. знания того, с чем субъект имеет дело, и зачем он это дело делает. При этом модели могут описывать и реальное и желаемое состояния рассматриваемой системы с разной степенью подробности. В связи с этим полезно различать уровни разработанности сведений, с которыми приходится иметь дело. Р. Акофф предложил такую классификацию (обратите внимание на специфическое употребление известных терминов).

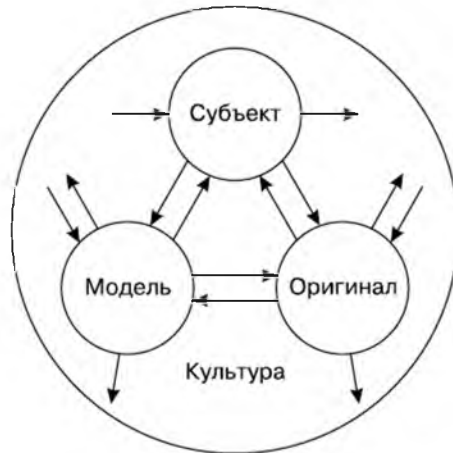


Рис. 3.15

*Данные* — (что?) — описание результатов измерений, наблюдений; протоколы экспериментов; исходные, «сырые» данные.

*Информация* — (состав?) — результат первичной обработки данных, их упорядочение, классификация, группировка.

*Знание* — (структура?) — результат вторичной обработки данных; выявление связей и закономерностей между группами, классами данных.

*Понимание* — (почему?) — объяснение выявленных закономерностей, построение теорий, дающих такое объяснение.

*Мудрость* — (зачем?) — сведения о том, зачем все это надо, хорошо ли это, надо ли это продолжать или прекращать — т.е. подход с точки зрения эстетики и этики.

Р. Акофф, желая подчеркнуть разную значимость этих уровней сведений, говорит, что унция данного уровня равна ценности фунта предыдущего. О количественных соотношениях можно

спорить, но качественное различие очевидно. И стоит отметить, что в существующей системе образования внимание и время обучения уделяется уровням сведений обратно пропорционально их действительной важности.

### 3.12. Заключение

Из вышеизложенного можно сделать два вывода. Первый — осознание фундаментальной роли моделирования: только благодаря ему возможна любая деятельность субъекта.

Второй — определение модели, содержащее упоминание тех ее свойств, которые потребуются при обосновании технологии решения проблем.

*Модель есть отображение оригинала: целевое (множественность моделей для одного оригинала; познавательные и прагматические модели); абстрактное (спектр языков; классификация как простейшая модель разнообразия реальности) или реальное (прямое, косвенное и условное подобие); упрощенное, приближенное; имеющее как истинное, так и ложное содержание; адекватное цели; ингерентное культуре пользователя.*

#### Контрольные вопросы и задания

1. Покажите, что познавательная и преобразовательная деятельности субъекта невозможны без моделирования.
2. Опишите алгоритм анализа и перечислите, какие модели он порождает.
3. Опишите алгоритм синтеза и укажите, какие модели он порождает. Какая из них непосредственно описывает исследуемый объект (явление)?
4. Что такое «абстрактная модель»? Кроме языковых, какие еще примеры абстрактных моделей вы можете привести?
5. Чем вызвано многообразие языков?
6. Какова простейшая абстрактная модель разнообразия окружающей нас реальности?
7. Чем отличаются искусственная и естественная классификации?
8. Что называется «реальной моделью»? Приведите три типа реальных моделей (классификацию по происхождению подобия модели оригиналу).
9. Чем отличается использование познавательных и прагматических моделей?
10. Почему в любой модели есть, кроме истинного, и (обязательно и неизбежно) неистинное содержание?



11. Какое качество модели называется адекватностью?
12. Что является окружающей средой для модели?
13. Дайте определения следующих терминов:
  - модель;
  - анализ;
  - синтез;
  - модель абстрактная;
  - модель языковая;
  - модель реальная;
  - классификация (искусственная и естественная);
  - модели познавательные;
  - модели прагматические;
  - адекватность модели;
  - культура (субъекта, организации, нации — любой социальной системы).

## УПРАВЛЕНИЕ

Как и большинство слов, термин «управление» является многозначным, употребляется в разных смыслах. В данной главе мы обсудим те его значения, детали и нюансы, которые употребимы в ходе прикладного системного анализа, т.е. в процессе решения проблемы (но используются и в других областях).

Исходным является определение управления как *целенаправленного воздействия на систему*.

Это перефразировка понятия «преобразовательная деятельность», введенного ранее: субъект старается изменить реальность, приблизить ее состояние к желаемому. В процесс управления вовлечены составляющие его компоненты. Следовательно, мы должны подвергнуть понятие управления анализу.

### 4.1. Аналитический подход к управлению: пять компонентов управления

Первым компонентом управления является сам *объект управления, управляемая система*.

Обозначим выходы некоторой системы  $S$  символом  $Y(t)$ , а входы ее разделим на управляемые извне  $U(t)$  и неуправляемые, но наблюдаемые  $V(t)$  (рис. 4.1). Мы знаем, что есть входы и ненаблюдаемые, неизвестные нам, но неизвестное невозможно включить в модель иначе, как через понятие стохастичности: наблюдаемые величины оказываются случайными. И даже при этом остается то неизвестное, что не отображено случайностью известного.

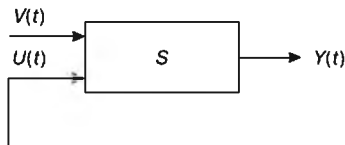


Рис. 4.1

Само выделение управляемых входов означает, что мы рассматриваем систему  $S$  как объект управления. Выходы  $Y(t)$  являются результатом преобразования системой  $S$  входов  $V(t)$  и  $U(t)$ :  $Y(t) = S(V(t), U(t))$ , что позволяет воздействовать на  $Y(t)$  путем выбора различных управлений  $U(t)$  (заметим, что приведенная символика верна только для безынерционных систем, хотя в реальности выход системы зависит не только от входов в данный момент времени, но и от их предыстории. Однако для наших целей это пока несущественно).

Вторым обязательным компонентом системы управления является *цель управления*. Мы подробно обсудили понятие цели в главе 2 при рассмотрении проблемы целесообразности всех систем. Напомним только, что в наше понятие цели входит не только конечное желаемое состояние системы  $(T^*, Y^*)$ , но и весь желаемый путь к ней  $Y^*(t)$  (рис. 4.2). Напомним также, что как бы мы ни старались учесть все ограничения при формулировке цели, она остается субъективной: во-первых, мы учли только то, что нам известно, а наши знания всегда ограничены; во-вторых, как именно и насколько правильно мы это сделали — итог нашей работы, неизбежно несущей отпечаток личности. Так что вопрос о фактической достижимости поставленной цели с помощью системы  $S$  остается открытым до начала самого процесса управления.

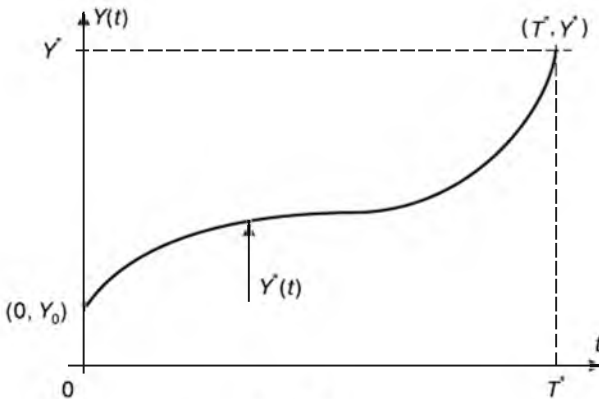


Рис. 4.2

*Управляющее воздействие*  $U(t)$  есть третий компонент управления. Тот факт, что входы и выходы системы связаны между собой некоторым соотношением  $Y(t) = S[V(t), U(t)]$ , позволяет надеяться на то, что существует такое управляющее воздействие  $U^*(t)$ , при котором на выходе реализуется цель  $Y^*(t)$ :

$$Y^*(t) = S[V(t), U^*(t)]. \quad (4.1)$$

Но как узнать, действительно ли оно существует, и если да, то каково оно?

Для этого нужно решить уравнение (4.1) относительно  $U^*(t)$ . В этом уравнении известны  $Y^*(t)$  (задано) и  $V(t)$  (наблюдаемо), но оператор  $S$  обычно неизвестен, что делает задачу неразрешимой. Выход все равно надо искать, и это приводит к двум типам управления.

Первый состоит в том, чтобы подать на управляемый вход какое-либо воздействие  $U(t)$  и посмотреть, что получится. Если на выходе получится цель  $Y^*(t)$  — нам крупно повезло. Если нет — подать какое-то другое воздействие  $U_f(t)$  и пронаблюдать результат. И действовать так и дальше до достижения нужного результата, т.е. искать нужное воздействие  $U^*(t)$  путем перебора воздействий на самой системе  $S$ . Иногда такой способ оказывается единственно возможным (например, поиск выхода из лабиринта), но чаще такой способ управления является неразумным по ряду причин. Например, множество возможных  $U(t)$  может быть настолько большим (и даже бесконечным), что надеяться на случайное удачное попадание нереально. Другая важная причина — высокие потери при неверном решении. Например,  $S$  — школа,  $U(t)$  — методика обучения,  $Y(t)$  — выпускники школы. Ясно, что метод перебора тут неуместен. Поэтому поиск нужного управляющего воздействия на самом управляемом объекте часто является неразумным, неприемлемым.

Второй подход основан на использовании всей имеющейся информации об управляемом объекте. Это означает, что поиск нужного управления следует осуществлять не на самой системе, а на ее модели.

Таким образом, *модель системы* становится четвертой составляющей частью процесса управления. Вместо решения уравнения (4.1) мы теперь должны решить относительно управляющего воздействия  $U_m^*(t)$  уравнение

$$Y^*(t) = S_m[V(t), U_m^*(t)], \quad (4.2)$$

в котором известны  $Y^*(t)$ ,  $V(t)$  и  $S_m$  — модель системы. В принципе (оставим в стороне технические трудности) такое уравнение может быть решено. Это и будет рациональным, разумным управлением.

Конечно, поиск управления на модели тоже требует потерь (расходы на процесс моделирования), но эти потери несравнимо меньше тех, которые мы понесли бы, ища нужное управление на самой системе.

Все действия, необходимые для управления, должны быть выполнены. Данная функция возлагается обычно на специально создаваемую для этого систему (пятую составляющую часть процесса управления), называемую *блоком управления* или *системой (подсистемой) управления, управляющим устройством* и т.п. В реальности блок управления может быть подсистемой управляемой системы (как заводоуправление — часть завода, автопилот — часть самолета), но может быть и внешней системой (как министерство для подведомственного предприятия, как аэродромный диспетчер для идущего на посадку самолета). Налицо сложности построения модели состава, обсужденные в главе 2.

Итак, схема управления может выглядеть так, как она представлена на рис. 4.3, на котором обозначены все пять составляющих процесса целевого управления.

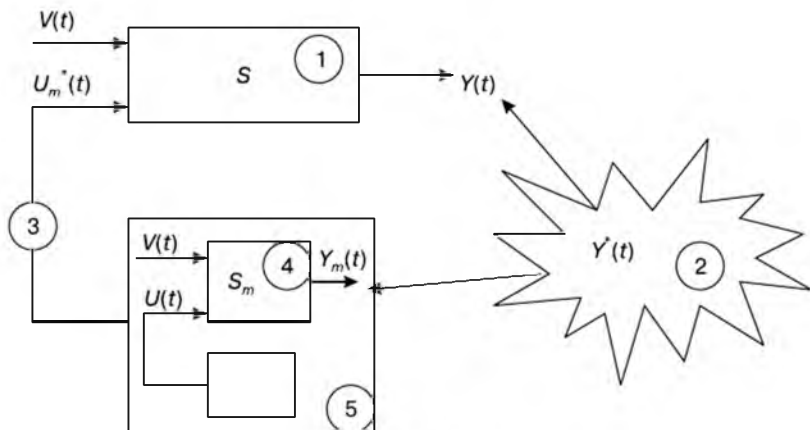


Рис. 4.3

Попутным, но очень важным результатом является то, что мы установили два первых обязательных шага процесса управления:

- 1) найти *на модели* системы нужное управляющее воздействие  $U_m^*(t)$ ;
- 2) исполнить это воздействие *на системе*.

#### 4.2. Этап нахождения нужного управления

Как использовать модель  $S_m$  для поиска наилучшего управляющего воздействия? Употребив оценочное слово «наилучший», мы должны точно указать, в каком смысле употребляется

эта оценка, т.е. задать критерий качества. Ясно, что управление тем «лучше», чем «ближе» выход системы  $Y(t)$  к цели  $Y^*(t)$ . Но искать-то это управление мы будем на модели, поэтому на этапе поиска управления нам придется считать наилучшим то управление  $U_m^*(t)$ , которое максимально приблизит к  $Y^*(t)$  выход модели  $Y_m(t)$ .

Если выходы  $Y_m(t)$  измеримы численно, то вводится некоторый числовой критерий («расстояние» между двумя функциями)  $r = r(Y^*(t), Y_m(t))$ , который равнялся бы нулю при совпадении сравниваемых функций и возрастал при любом их различии. Таких «расстояний» можно ввести много и по-разному. Например:

$$r_1 = \max |Y_m(t) - Y^*(t)|. \quad r_2 = \int_{t_1}^{t_2} [Y_m(t) - Y^*(t)]^2 dt.$$

Выбрав некоторую меру различия двух функций, нам остается решить задачу на отыскание такого  $U_m^*(t)$ , которое доставляет функционалу  $r$  минимум (лучше — ноль):

$$U_m^*(t) = \arg \left\{ \min_{(U(t))} r[Y^*(t), Y_m(V(t), U(t), U(t))] \right\}. \quad (4.3)$$

Для целей, задаваемых нечисловым способом, все равно вводятся какие-нибудь оценки близости результата к цели.

#### 4.3. Синтетический подход к управлению: семь типов управления

После подачи на управляемый вход системы найденного воздействия  $U_m^*(t)$  система выдаст некоторый выходной процесс  $Y(t)$ :

$$Y(t) = S[V(t), U_m^*(t)],$$

являющийся преобразованием входов оператором системы  $S$ . При этом возможны различные исходы, требующие различных действий по управлению системой. Это и порождает различные типы управления.

**Первый тип управления** — *управление простой системой, или программное управление*. Начнем с самого желательного случая — когда подача на вход системы  $S$  воздействия  $U_m^*(t)$ , обеспечивающего

цель  $Y^*(t)$  на выходе модели  $S_m$ , приводит к такому же результату и на выходе управляемой системы  $S$ . Это означает, что наша модель  $S_m$  оказалась *адекватной*, так как система  $S$  послушно отработала заданную цель. В этом случае систему  $S$  будем называть *простой*. Простота системы есть следствие адекватности модели. Управляющее воздействие  $U_m^*(t)$  в этом случае называется *программой*, а данный тип управления — *программным управлением*.

Такой наиболее благоприятный случай иногда удается реализовать в практике. Примерами могут служить исправные бытовые приборы, различные автоматы, компьютеры, стрелковое оружие, исполнительный работник, идеальный солдат и т.п.

**Второй тип управления — управление сложной системой.** Рассмотрим другой крайний случай — когда на найденное на модели управляющее воздействие  $U_m^*(t)$  система откликается вовсе не так, как модель,  $Y(t)$  не совпадает с  $Y^*(t)$ . Обозначим эту ситуацию соответствующей терминологией.

Начнем с констатации факта, что имеющаяся у нас модель не позволила достичь цели; наша модель  $S_m$  *неадекватна*. Система  $S$  ведет себя неожиданным для нас образом, не подчиняется нашему управлению («эта чертова штука ведет себя не так, как ей положено!»). Будем называть такую систему *сложной*. Причиной сложности системы при таком подходе оказывается неадекватность ее модели  $S_m$ .

Подчеркнем, что мы ввели специальное определение сложности. Есть много других определений; некоторые из них связывают понятие сложности с многокомпонентностью, разнокачественностью компонентов; многомерностью компонентов управления и т.д. Мы будем употреблять термин «сложный» только в смысле недостаточности информации об управляемом объекте. С этой точки зрения сложность — это не свойство системы, а свойство тех, кто смотрит на систему.

Очевидно, что управление сложной системой сводится к добыванию недостающей информации о системе и последующему использованию этой информации для очередного акта управления. Это означает, что мы должны совершенствовать модель системы, повышать ее адекватность.

Будем исходить из предположения, что при построении модели  $S_m$  мы использовали всю доступную информацию о системе — из учебников, монографий, справочников, Интернета, от экспертов. Тогда единственным источником информации

остается только сама система и единственным способом извлечения этой информации является эксперимент с системой.

Эксперимент — это вопрос к системе, на который она дает честный ответ. Один вопрос мы уже задали. Подавая на управляемый вход воздействие  $U_m^*(t)$ , мы как бы спросили систему: «Дорогая, на это воздействие ты выдашь на выходе  $Y^*(t)$ ?» А она ответила: «Нет, я не такая! Я откликаюсь функцией  $Y(t)$ ». Эту полученную информацию надо включить в модель путем передачи информации по цепи обратной связи, и изменения, коррекции модели так, чтобы она на  $U_m^*(t)$  откликнулась той же функцией  $Y(t)$ , что и система (рис. 4.4). Теперь модель  $S_m$  стала более похожей на систему  $S$ , по крайней мере на данном примере.

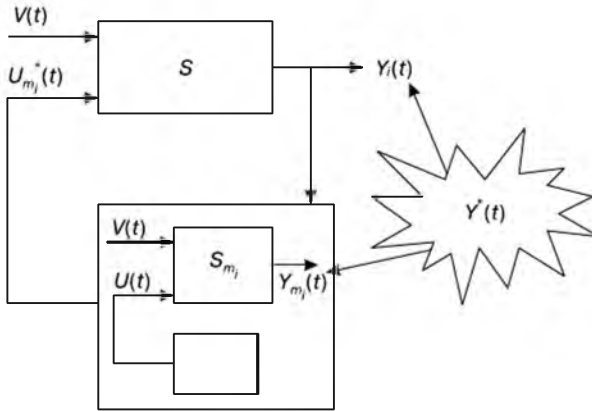


Рис. 4.4

Новую, исправленную и дополненную модель  $S_m$  мы используем для поиска на ней следующего управляющего воздействия (поэтому на схеме введена индексация « $i$ » очередного шага  $i = 1, 2, \dots$ ),  $U_m^*(t)$ . И такие шаги повторяются, постепенно улучшая модель, повышая ее адекватность.

Итак, алгоритм управления сложной системой таков.

1. На текущей, имеющейся на данный  $i$ -й момент времени, модели  $S_m$  системы  $S$  отыскивается некоторым методом (а методы могут быть разными: случайный поиск, градиентный спуск, перебор и др.) управляющее воздействие  $U_m^*(t)$ , которое обеспечивает получение целевой функции  $Y^*(t)$  на выходе этой модели.

2. Найденное воздействие  $U_m^*(t)$  подается на управляемый вход системы  $S$ .



3. Наблюдается и фиксируется выход системы  $Y_i(t)$ .

4. При расхождении  $Y_i(t)$  и  $Y^*(t)$  производится коррекция модели (за счет ее варьируемых параметров) так, чтобы исправленная модель  $S_{m_{i+1}}$  как можно точнее повторяла на своем выходе  $Y_{m_{i+1}}^*(t)$  отклик системы  $Y_i(t)$ .

5. Возврат к пункту 1 ( $i \rightarrow i + 1$ ).

Еще раз обсудим особенности алгоритма управления сложной системой.

Во-первых, алгоритм имеет циклический, повторяющийся характер. С каждым циклом  $S_m$  улучшается, становится более адекватной, что повышает эффективность управления, уменьшает сложность системы. В некоторых случаях удастся сложную систему превратить в простую за конечное число шагов. Примером является случай, когда вы забыли шифр, набранный вами у автоматической камеры хранения. Улучшение модели состоит в замене ее строки «на № X возможно откроется» после неудачной пробы № X на строку «на № X не откроется» и в соответствующем сокращении числа оставшихся вариантов.

В других случаях коррекция модели производится изменением ее параметров. Например, если модель — уравнение, меняются его коэффициенты, показатели, добавляются или удаляются члены уравнения и т.д. Если модель — физическое устройство, изменяются его уставки, регулировки, переключения и т.д. Иногда эти действия приводят к достаточной адекватности модели, т.е. к упрощению системы.

Но есть системы, сложность которых человечеству не удастся исчерпать, несмотря на все старания (природа, общество, экономика, мышление и т.д.). Это не значит, что их изучение напрасно, оно просто бесконечно. Их иногда называют *очень сложными* системами.

Во-вторых, поскольку на каждом шаге будет получаться «не совсем цель  $Y^*(t)$ », мы при этом понесем потери. Такова цена незнания. Нам остается только минимизировать неизбежные потери при управлении сложной системой. Сделать это можно, лишь полностью, без потерь используя полученную в очередном эксперименте (шаге управления) информацию, т.е. сделать так, чтобы скорректированная модель как можно точнее имитировала поведение системы на каждом из предыдущих шагов.

Теперь пора привести широко употребляемое название этого метода, хотя и с некоторой неохотой из-за его лингвистических особенностей. В ходе формирования профессиональной терминологии

для нужд теории и практики управления каждое очередное управляющее воздействие стали именовать *пробным воздействием* или просто *пробой*, а расхождение между  $Y(t)$  и  $Y^*(t)$  — *ошибкой*. Сам алгоритм управления сложной системой получил название *метода проб и ошибок*. Из-за этого названия некоторые путают его с «методом тыка». Кардинальное различие между ними заключается в том, что нужное воздействие ищется не на самой системе (это и есть «метод тыка»), а на модели системы, корректируемой по ходу управления. Можно сказать, что «метод тыка» — самый плохой метод управления сложной системой, а «метод проб и ошибок» — самый лучший. Хотя и при нем потери неизбежны — за невежество приходится расплачиваться.

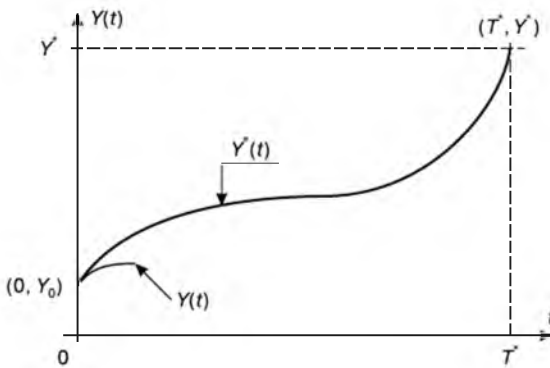


Рис. 4.5

Важно подчеркнуть, что даже при очевидной бесконечности познания очень сложных систем прогресс все же возможен, и именно методом проб и ошибок; хотя от точного задания конечной цели придется отказаться, но в ее сторону можно идти, преодолевая конкретные «сегодняшние» препятствия, определяя конкретные ограничения, в рамках которых остается свобода для проб и ошибок.

**Третий тип управления** — *управление по параметрам, или регулирование*. Рассмотрим теперь случай, промежуточный между первыми двумя. Подав  $U_m^*(t)$ , мы можем наблюдать, что поначалу система идет по желаемой траектории  $Y^*(t)$ , но через некоторое время обнаруживается расхождение между  $Y(t)$  и  $Y^*(t)$  — см. рис. 4.5. Конечно, это значит, что модель не совсем точна. Но часто оказывается, что внесение поправок в модель нецелесообразно. Например, самолет, ведомый автопилотом, сбивается с курса порывом ветра. Вносить в модель этот порыв нет смысла: он не повторится. Но есть возмож-

ность внести изменения в саму систему. Первая возможность — *изменение параметров* системы, не изменяя ее структуры. Параметр изменяется так, чтобы система вернулась на целевую траекторию, и при дальнейших отклонениях  $Y(t)$  от  $Y^*(t)$  это действие повторяется. Наглядным примером может служить вождение автомобиля. Целевой траекторией является правая половина дороги (в Англии, Японии и связанных исторически с ними странах — левая). Водитель меняет положение руля (и других регулируемых параметров машины), удерживая автомобиль на целевой траектории (рис. 4.6).

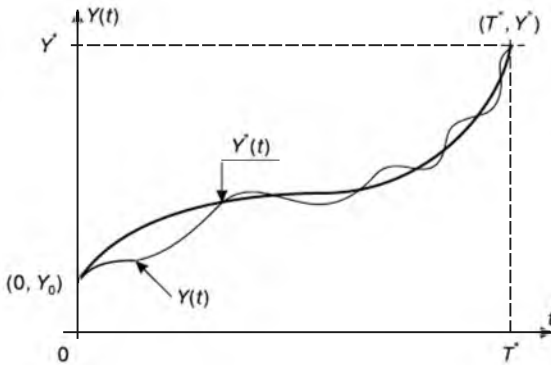


Рис. 4.6

Для реализации этого типа управления нужно выполнять следующие функции:

- 1) держать в памяти опорную траекторию  $Y^*(t)$ ;
- 2) следить за реальной траекторией  $Y(t)$ ;
- 3) обнаруживать текущее различие между  $Y(t)$  и  $Y^*(t)$ ;
- 4) вырабатывать, определять, вычислять корректирующее, дополнительное к  $U_m^*(t)$ , воздействие на параметр(ы) системы;
- 5) исполнять это воздействие на системе, возвращая ее на опорную траекторию.

Для выполнения этих функций необходимо создать специальное устройство, дополнительную систему. Это устройство получило название *регулятора*, а сам метод управления — *регулирования*. Схема управления теперь выглядит по-другому (рис. 4.7, см. рис. 4.3). Регулятор изображен квадратиком «R». Он помещен на схеме в позицию, которая позволяет отнести его либо к самой управляемой системе, либо к системе управляющей, либо считать самостоятельной системой. Важно исполнение указанных функций, а где они физически будут исполняться, зависит от обстоятельств. Например, ре-

гулирующее управление самолетом может выполняться автопилотом, летчиком или аэродромным диспетчером.

Если программное управление называют управлением без обратной связи, то регулирование — управлением с *обратной отрицательной связью* (подчеркивая стремление *уменьшить* отклонение от опорной траектории; при *положительной обратной связи* отклонение стремятся *увеличить*, как, например, в автогенераторах).

Для осуществления регулирования необходимо, чтобы система отклонялась от опорной траектории не слишком быстро и не слишком далеко — так, чтобы за счет изменения параметров можно было бы ее вернуть на целевую траекторию  $Y^*(t)$ . В математической теории регулирования это условие называется «малостью» отклонений.

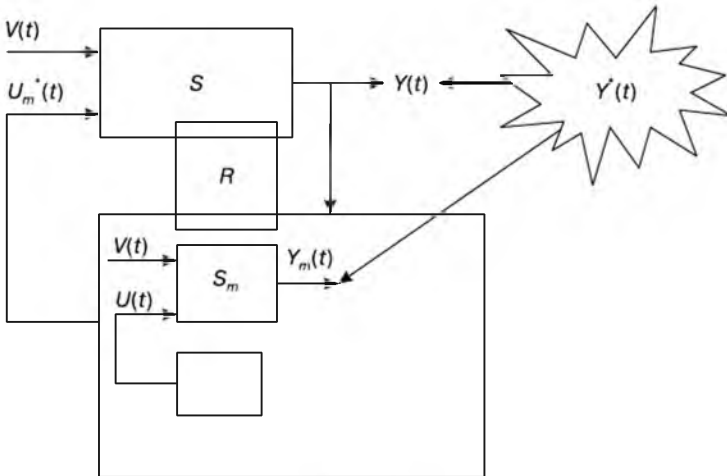


Рис. 4.7

К сожалению, это условие иногда не выполняется. Например, автомобиль может выехать на обледеневший участок дороги, и никакие манипуляции с рулем и тормозами не смогут удержать его на дороге. Мы оказываемся в условиях, когда требуется другой тип управления.

**Четвертый тип управления** — *управление по структуре*. Когда система так быстро и так далеко отклоняется от целевой траектории, что не может быть возвращена на нее изменением параметров, перед нами два выхода: пессимистический и оптимистический. Пес-

симиристический означает смирение перед невозможностью достичь конечную цель, иногда — гибель. Оптимистический связан с признанием фактов и предпринятием попытки все-таки достичь  $(T^*, Y^*)$ . Фактом является то, что эта цель недостижима для *существующей* системы. Но, может быть, она достижима для *другой* системы?

Изменим в момент  $T_s$  (рис. 4.8) структуру системы, создавая тем самым новую систему, с надеждой прибыть в точку  $(T^*, Y^*)$  хотя бы и по другой траектории  $Y_s^*(t)$ . Такое управление и называется *управлением по структуре*. Можно различать случаи, когда новая структура создается только из частей (возможно, не всех) старой системы, и случаи вовлечения в структуру новых элементов извне.

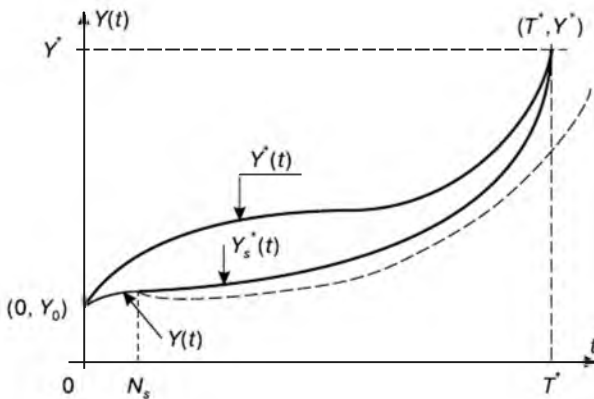


Рис. 4.8

Разнообразию вариантов отвечает множественность названий для данного типа управления: реорганизация, модернизация, перестройка, самоорганизация и т.п. В качестве примеров можно привести хирургическую операцию, смену схемы административного управления, сброс балласта с воздушного шара, забор или выдув воды из баков подводной лодки, пристройку к зданию, протезирование и т.п.

Ясно, что может встретиться случай, когда никакая комбинация наличных элементов не обеспечивает достижение поставленной конечной цели. Это означает невозможность и нецелесообразность управления по структуре, потенциал которой исчерпан.

Пятый тип управления — *управление по целям*. Выход снова видится не в безнадежном опускании рук, а в том, чтобы признать факт и сделать оптимистический вывод. Факт теперь состоит

в том, что никакое использование имеющихся ограниченных средств не может реализовать желаемое состояние: данная цель в данных условиях недостижима.

Остается сменить цель, понизив уровень притязаний, переориентироваться на достижимые сроки и (или) другие параметры конечного состояния. Это и есть пятый способ управления — управление по целям.

Можно различать цели, недостижимые в принципе. Обнаружение недостижимости некоторых таких целей является основанием отказаться от стремления к ним.

Существуют, однако, другие, заведомо недостижимые цели, но притягательные и достойные стремления к ним, а главное — допускающие неограниченное приближение к ним, такие цели называются *идеалами* (гармонично развитая личность, абсолютное спортивное превосходство, познание истины, абсолютное добро и т.п.), и люди тратят много сил для стремления к этим целям.

Существуют цели, недостижимые в одних условиях, но достижимые в других; есть цели, достижимость которых желательна, но не доказана, хотя и не опровергнута (искусственное мышление, антигравитация). Есть цели, достижимые, но не достигнутые из-за неэффективного или ошибочного управления. Однако определить, с каким именно из вариантов мы столкнулись, в некоторых случаях не является простым делом.

В практике управление по целям встречается нередко, особенно в административном управлении, менеджменте: ротация кадров, подыскивание посильной работы, переобучение, вообще управление персоналом. Следует только иметь в виду, что смена цели для любого индивида — болезненный процесс, тем более тяжелый, чем более высокого уровня цель приходится менять (осознание недостижимости цели иногда может даже сделать для субъекта бессмысленной саму дальнейшую жизнь). Так что этот метод требует осторожности.

**Шестой тип управления** — *управление большими системами*. Два первых типа основаны на совершенствовании модели системы, третий и четвертый — на изменении самой системы, пятый — на смене цели. Существует еще один фактор, влияющий на качество управления и требующий нового способа управления. Это *своевременность* управляющего воздействия. «Поезд уже ушел», «После драки кулаками не машут», «Силен задним умом», «Остроумие на лестнице» — так отображает народный фольклор факт

бесполезности запоздалого решения, даже самого лучшего во всех остальных смыслах.

Запаздывание с выбором наилучшего из возможных решений вызывается тем, что для оценки каждого из них нужно «проиграть» его на модели системы, а это требует определенного времени. Время же, отпущенное на выработку решения, может быть ограничено: по истечении этого времени управление теряет смысл. Управлять-то надо в реальном масштабе времени, а моделировать управление — в ускоренном.

Может оказаться, что время, требующееся для нахождения оптимального решения, превосходит предельно допустимое для исполнения управляющего вмешательства. Тогда сама возможность найти оптимальное решение становится ненужной. А управлять-то необходимо! Это и требует выработки еще одного способа управления.

Оформим специальными терминами ситуацию, с которой мы столкнулись. Систему, для нахождения оптимального воздействия на которую достаточно информационного ресурса (модель адекватна), но недостаточно времени, будем называть *большой* системой, в противном случае — *малой*.

В качестве примера можно привести положение с советской экономикой, когда межотраслевой баланс подводился с задержкой в три-четыре года. Считалось, что это — одна из основных причин низкой эффективности управления экономикой страны.

Другой пример дал в свое время ВЦ новосибирского Академгородка, который реализовал очень развитую многокомпонентную модель для точного предсказания погоды на сутки вперед, но мощность тогдашнего ВЦ позволяла получить прогноз лишь через несколько суток.

Ясно, что причиной того, что система оказывается большой, является не сама величина, громоздкость системы, а недостаточная скорость перебора и сравнения на модели вариантов управления, т.е. дефицит времени.

Поэтому первый, самый эффективный способ управления большой системой — превратить ее в малую, ускорив процесс моделирования. Например, заменив моделирующий компьютер более быстродействующим, распараллеливая алгоритм оптимизации, делегируя свои полномочия помощникам и т.д.

Но такой способ может натолкнуться на непреодолимые трудности (например, не существует более мощных машин, не оказалось подходящих кадров, не хватает финансов и т.д.). Поэтому в реальной практике часто употребляется другой, менее эффективный по каче-

ству управления, но своевременно дающий результат. Не самое лучшее, но своевременное решение лучше, чем никакое или запоздалое. Приходится отказываться от ожидания получения оптимального варианта и принимать первый получившийся удовлетворительный. Часто для получения слабого, но быстрого решения идут на различные упрощения модели (сокращение размерности, линеаризация и другие упрощающие аппроксимации, округление точных чисел и т.д.). Это вынужденные выходы из затруднительного положения для руководителя, действующего при дефиците времени. Иногда, правда, за этим скрывается неумение работать лучше...

**Седьмой тип управления.** Кроме первого типа управления, когда все нужное для реализации цели налицо, остальные рассмотренные типы управления связаны с преодолением факторов, мешающих достичь цель: нехватка информации об объекте управления (второй тип), сторонние мелкие помехи, слегка отклоняющие систему от целевой траектории (третий тип), несоответствие между эмерджентными свойствами системы и поставленной целью (четвертый тип), нехватка материальных ресурсов, делающая цель недостижимой и требующая ее замены (пятый тип), дефицит времени для поиска наилучшего решения (шестой тип).

Но в реальной жизни встречается еще одна ситуация — когда управлять текущими событиями приходится, но *конечная цель непостижима, неизвестна*.

Как же управлять, если отказаться от возможности объективно конкретизировать конечную цель? Так мы выходим на седьмой тип управления — *управление при отсутствии информации о конечной цели*.

Из определения цели, принятого нами в главе 2, логично вытекает, что при неопределенности конечной цели следует неопределенность и траектории движения к ней. А ведь управляющие воздействия при любом типе управления направлены на то, чтобы двигаться по этой траектории с максимально достижимой близостью к ней. Это стремление в данной ситуации можно реализовать по крайней мере двумя способами.

Первый способ состоит в том, чтобы дать субъективное, априорное определение конечной цели, а дальше действовать по предыдущим схемам.

Наглядный (но не единственный) пример этого дает нам управление крупными социальными системами. В чем смысл жизни? Какова цель социального развития? Готовые ответы этому дает идеология. Однако эти ответы являются лишь гипотезами.



Разные сообщества придерживаются разных идеологий, субъективно отдавая предпочтение тому или иному идеалу. История уже показала нежизненность некоторых из них (рабовладельческий и феодальный строй), вскрыла острые недостатки других (тиранические, диктаторские режимы), утопичность третьих. Мы являемся свидетелями происходящего склонения общества к идеалам демократии. Но и в демократической идеологии некоторые основополагающие цели противоречивы. Например, идеи равенства и свободы несовместимы: при равенстве невозможна свобода, при свободе невозможно равенство. Попытка французской революции соединить их с помощью «братства» выглядит наивной или во всяком случае неконструктивной. Прикладной системный анализ предлагает в этом случае еще один идеал — равноправность и равноценность каждого индивида и улучшающее вмешательство как способ реализации этого идеала (см. гл. 1).

Интересным вариантом реализации демократического идеала (принятие решения большинством) является двухпартийная система. Одна из партий отдает приоритет свободе, другая — равенству. Оба идеала привлекательны, но несовместимы. Общество избирает «социалистов», т.е. начинает реализовывать равенство (в частности, проводит национализацию крупных отраслей экономики). Но процесс уравнивания неизбежно сковывает инициативу субъектов, и развитие общества замедляется. Когда это становится очевидным и нежелательным, общество избирает «либералов», которые начинают приватизацию и развязывают личную инициативу через свободу и частную собственность. Происходит развитие экономики, но усиливается неравенство между богатыми и бедными слоями общества. Это вызывает нарастание напряженности в обществе, усиление ощущения «несправедливости». Тут-то и появляется возможность избрать во власть партию, проповедующую равенство. Конкретный пример — Англия с ее лейбористами и тори.

Тот факт, что это — проявление какой-то более общей системной закономерности, дает пример оптимизации гладкости траектории тяжелого транспортного самолета ТУ-154, исследованной томским профессором Ю.И. Параевым. Закрылки самолета можно поставить в любое положение между двумя крайними. Оказалось (это строгий математический результат!), что оптимальное управление такой инерционной системой, как самолет, состоит в переключении закрылок из одного крайнего положения в другое — в правильно выбранные моменты времени. Никаких промежуточных положений! Явно просматривается аналогия

с двухпартийной системой. Может быть, поэтому в мире происходит дрейф многопартийных систем в сторону двухпартийности?

И все же давайте признаем, что любая социальная идеология, утверждающая свое видение конечной цели, на самом деле предлагает гипотезу, истинность которой является вопросом веры в нее и последующей проверки на практике.

Имеется, однако, другой подход к управлению при невозможности явно определить конечную цель, но есть надежда, что она все-таки существует. Если это так, то должна существовать и траектория продвижения к ней. Она тоже неизвестна, но можно пытаться исследовать ближайшую окрестность вокруг текущего состояния и определить наиболее предпочтительное направление следующего шага в пределах этой окрестности. Затем сделать этот шаг и действовать в дальнейшем так же.

Такой способ реализуется в действительности в самых различных областях.

В биологии он называется эволюцией и естественным отбором. В теории менеджмента (понимаемого широко) он называется инкрементализмом (внесение небольших, но обязательно улучшающих изменений). В математической теории оптимизации предложено несколько способов поиска экстремума функции нескольких переменных (покоординатные шаги типа метода Гаусса — Зейделя, случайный поиск, метод наискорейшего спуска по градиенту и т.п.). В социальных системах можно упомянуть раскритикованного марксистами Каутского с его лозунгом «Цель — ничто, движение к ней — все».

Конечно, на этом пути успех не гарантирован. Целевая функция, в существовании которой мы уверены, может оказаться многоэкстремальной, и мы можем попасть не в глобальный, а в локальный экстремум (примеры: тупиковые ветви эволюции живых популяций; выбор удовлетворительных, а не оптимальных решений в управлении социальными системами; застревание в локальных экстремумах при математической оптимизации и т.п.).

Складывается впечатление, что единственной абсолютно универсальной целью существования любой системы является само ее существование («смысл жизни — в ней самой»). Только выжив, система может начать преследование каких-то (любых) других целей.

#### 4.4. Выводы

Подведем некоторые итоги.

Во-первых, мы рассмотрели состав и структуру процесса управления, выделив пять его составляющих (объект управле-

ния, цель управления, управляющее воздействие, модель системы, субъект управления) и обсудив взаимодействия между ними.

Во-вторых, мы отметили, что после выполнения двух исходных операций (поиск нужного управляющего воздействия на модели системы и исполнение его на системе) реакция системы может быть различной. Это требует специфических действий по управлению в каждом случае, что позволило выделить семь ситуаций с особыми типами управленческого поведения: программное управление, метод проб и ошибок, регулирование, управление по структуре, управление по целям, управление при дефиците времени, управление при отсутствии информации о конечной цели. Для каждого из них подробно описаны алгоритмы управления и пределы их возможностей.

Особое внимание следует уделить введенным нами специальным определениям «сложной системы» и «большой системы». Они являются предметом гордости томской школы системщиков, поскольку до этого разные авторы употребляли эти термины неоднозначно: то как синонимы, то пользовались лишь одним из них, то придавали им частично перекрывающийся смысл. Четкое разведение этих терминов решило несколько задач.

Первая — указание разных причин возникновения сложных и больших систем позволило предложить разные конкретные способы преодоления трудностей, связанных с ними: для борьбы со сложностью необходима дополнительная информация, для превращения большой системы в малую — ускорение принятия решения.

Вторая — указанные качества системы могут сочетаться во всех четырех возможных вариантах, требуя при этом разных подходов. Нечеткость разделения понятий «сложный» и «большой» может привести к затруднительным ситуациям, как это случилось с академиком В.М. Глушковым, много сделавшим для развития вычислительной техники и внедрения ее в практику народного хозяйства СССР. На всех уровнях он утверждал, что основной причиной уже тогда проявившейся неэффективности тотального планирования экономики является недостаточная мощность парка вычислительных машин. Когда же предсовмина А.Н. Косыгин предложил ему представить заявку на любые типы и количества ЭВМ, чтобы решить эту проблему, стало ясно, что только этим проблему не решить, так как советская экономика являлась не только большой, но одновременно и сложной системой.

И еще одно замечание. Приведенная в данной главе классификация типов управления не может быть абсолютной и универсальной

(как, впрочем, и всякая классификация). Являясь моделью, она упрощенно описывает разнообразие реальных вариантов управления. В жизни могут встречаться случаи, когда в управлении одной системой используются одновременно или поочередно сочетания разных типов управления. С другой стороны, являясь моделью, данная классификация имеет целевой характер и для других целей могут потребоваться другие классификации. Например, в некоторых случаях различают автоматическое, полуавтоматическое (автоматизированное) и ручное управление; эти типы используются в управлении станками, самолетами, космическими пилотируемыми кораблями и т.д. Другая классификация потребует, чтобы выделить менеджмент среди отличающихся от него типов управления: это не одноцелевое управление, не управление технической системой, не административное управление, не управление со стороны автомата и т.д.

В заключение отметим, что в русском языке слово «управление» имеет очень широкий смысл. Оно включает в себя такие понятия, как администрирование, командование, менеджмент, управление техническим устройством (станком, автомобилем, оружием, ракетой и т.д.). Интересно узнать, что в английском языке есть слова для обозначения конкретных видов управления (government, management, control, administration, guidance, driving, etc.), но общий термин, эквивалентный русскому «управление», отсутствует (ближайший — operation).

#### **Контрольные вопросы и задания**

1. Какие пять составляющих обеспечивают выполнение процесса управления?
2. При каких условиях поиск управляющего воздействия на самой системе является неразумным, неприемлемым?
3. Что называется простой системой? В чем причина простоты?
4. Какую систему называют сложной? Какова причина сложности?
5. Опишите алгоритм метода проб и ошибок. Какими особенностями он обладает?
6. Чем отличается метод проб и ошибок от «метода тыка»?
7. Перечислите, какие функции выполняет регулятор.
8. В чем состоит управление по целям? При каких условиях применим этот тип управления?
9. Что такое «большая система»? Каковы варианты управления ею?
10. Придумайте примеры систем, которые были бы одновременно: малой и простой, малой и сложной, большой и простой, большой и сложной.

## **ЧАСТЬ II**

# **СИСТЕМНАЯ ПРАКТИКА: ТЕХНОЛОГИЯ ПРИКЛАДНОГО СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА**

## ЭТАПЫ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА

В соответствии с нашими системными представлениями, изложенными в части I, переход из состояния проблемной ситуации в состояние желаемой конечной цели — решения проблемы — должен осуществляться системно, упорядоченно, путем последовательного выполнения определенных шагов. При этом каждый этап тоже имеет свою структуру из более мелких шагов, которую следует соблюдать достаточно строго — ее нарушение может отрицательно повлиять на качество результата одного этапа и, следовательно, всего процесса в целом. Кроме того, на каждом этапе существуют опасности совершить ошибку или попасть в «ловушку»; необходимо знать о возможности совершения таких неудачных действий и пользоваться приемами для того, чтобы их избежать.

Технология прикладного системного анализа и есть изложение всего этого алгоритма с описанием всех особенностей каждого этапа.

Придя к системному аналитику со своей проблемой, которую не смог решить сам, клиент инициирует процедуру анализа. Аналитик возьмется за работу по решению любой проблемы, но только на определенных условиях. Эти условия абсолютно необходимы (хотя и недостаточны) для успеха. Без их наличия опытные аналитики просто не берутся за работу. Перечислим эти условия, хотя полностью их смысл и необходимость станут понятными позже, после ознакомления с определенными моментами и тонкостями технологии.

### **Условия успеха системного исследования:**

1) гарантия доступа к любой необходимой информации (при этом аналитик со своей стороны гарантирует конфиденциальность);

2) гарантия личного участия первых лиц организаций — обязательных участников проблемной ситуации (руководителей проблемосодержащих и проблеморазрешающих систем);

3) отказ от требования заранее сформулировать необходимый результат («техническое задание»), так как улучшающих вмешательств много и заранее они неизвестны, тем более — какое будет избрано к осуществлению.

**Операции системного анализа.** Если клиент согласен на условия контракта, аналитик приступает к первому этапу, выполнив который, начинает второй и так далее до последнего этапа, по окончании которого должно получиться реализованное улучшающее вмешательство (рис. 5.1).

$P$  (проблема клиента)

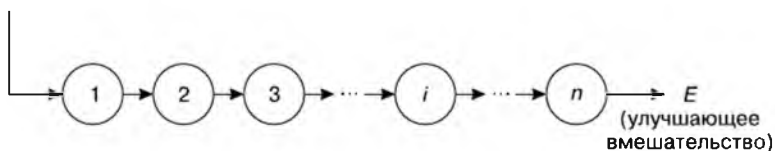


Рис. 5.1

Из свойств модели состава мы знаем, что целое можно делить на части по-разному (3-е свойство систем), поэтому разные авторы предлагают описания из разного числа этапов: описания можно укрупнять и дробить. Например, путь от постановки проблемы до ее решения можно делить на два этапа: исследование и разрешение. Каждый из них можно поделить еще на два этапа: обследование и диагностика, планирование и осуществление плана. И так далее, в полном соответствии с методом *анализа* (см. главу 3). Мы предпочитаем представлять алгоритм системного анализа дюжиной этапов. Схема изложения каждого этапа стандартна: задается его вход; описывается, что и какого качества должно получиться на выходе; указывается, какие действия и как должны быть выполнены; обращается внимание на возможные трудности, ошибки, «ловушки» и даются советы по их преодолению.

Было бы неправильно думать, что последовательное линейное прохождение всех этапов всегда приведет к желаемому решению. Так бывает только тогда, когда исполнитель заранее знает полное решение проблемы клиента. Например, когда учитель ведет занятия с учеником, обучая его сложению дробей, объясняя ему каждый шаг в этом процессе. В практике же прикладного системного анализа конечный результат заранее никому не известен, он будет постепенно формироваться в ходе анализа (поэтому системные аналитики отказываются принимать

в начале работы от заказчика «техническое задание», в котором определено, что должно получиться в результате его работы; поэтому системные аналитики не соглашаются «обосновывать» кем-то уже принятые решения; поэтому системного аналитика сравнивают не с доктором, который ставит диагноз и назначает лечение, и даже не с учителем, преподающим то, что он знает, а скорее с руководителем творческого коллектива, взявшегося за новую тему, которая неизвестно чем закончится). В результате на последующих этапах анализа может обнаружиться неполная завершенность или погрешность какого-то из предыдущих этапов; потребуется вернуться к нему и исправить обнаруженный недостаток, вновь проходя уже пройденные этапы. Схема процедуры анализа будет выглядеть, как на рис. 5.2.

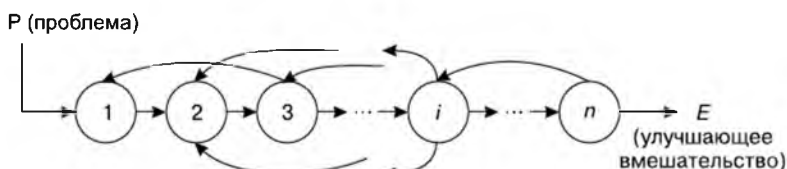


Рис. 5.2

Алгоритм решения конкретной проблемы не будет линейным, будет содержать циклы, возвраты. По сути, это другое представление метода проб и ошибок: решение проблемы есть преодоление сложности (!). Чем сложнее проблема, тем больше возвратов потребуется (их количество можно считать мерой сложности).

Однако в дальнейшем изложении технологии мы будем обсуждать этапы последовательно, один за другим. Реальный же ход работы может совершать челночные траектории, пока не будет достигнуто окончательное решение.

Распространенным заблуждением, главной причиной неудач является мнение, будто для любой проблемной ситуации существует некое простое и единственно правильное решение. Это верно в единственном случае, когда совокупность проблем связана в линейную последовательность, и проблема прочности всей цепи заключается в укреплении самого слабого звена. Но такая ситуация является редким исключением; проблемы образуют систему, эмерджентность которой не позволяет решать какую-то одну проблему в отдельности и требует стремиться к созданию улучшающего вмешательства (см. главу 1).



Наконец, следует подчеркнуть, что и сами операции системного анализа, и конкретный вариант поступательно-возвратного продвижения по схеме рис. 5.2 зависят от используемых парадигм (видения мира, совокупности идей и предположений, из которых мы исходим в своей деятельности) и метафор (конкретных представлений о рассматриваемой системе). Поэтому дальнейшее изложение этапов, операций системного анализа будем вести с учетом разных вариантов их исполнения.

**О различных вариантах решения проблем.** Даже самые «жесткие» проблемы иногда имеют отличающиеся варианты решения (например, доказательства математической теоремы). Применительно к «мягким» проблемам это имеет характер правила, а не исключения. Это особенно наглядно и типично для проблем, возникающих при управлении социальными системами, с их разнообразием, сложностью и слабо предсказуемой изменчивостью.

В ответ на потребности менеджеров в конкретных практических методах управления в условиях сложности управляемой системы и турбулентности среды возникло довольно много методик, рекламируемых как панацеи от всех управленческих бед. Вот лишь некоторые из них (в алфавитном порядке):

- анализ добавленной стоимости (value chain analysis);
- базовые компетенции (core competencies);
- балансовый учет (balanced scorecard);
- всеобщее управление качеством (total quality management);
- непрерывное совершенствование (continuous improvement);
- оптимизация штатной численности (downsizing — right-sizing);
- ориентация на пользователя (customer focus);
- планирование в форме сценариев (scenario planning);
- реинжиниринг бизнес-процессов (process re-engineering);
- самообучение организации (learning organizations);
- управление знаниями (knowledge management);
- установление критериев и стандартов (benchmarking).

Практика использования таких методик показывает, что они редко дают желаемое улучшение. Причин частых неудач каждый раз может быть несколько, но есть одна, фундаментальная, общая для всех панацей: *неумение видеть целостность системы*, сосредоточение внимания на отдельных ее частях, неучет главной особенности систем — эмерджентности, синергии. Современный приклад-

ной системный анализ предлагает холистический и креативный подход, который состоит в сосредоточении внимания на двух «системообразующих» факторах: 1) целостность, эмерджентность системы (недопустимость отдельного рассмотрения любой части, когда целью является улучшение всей системы в целом); 2) вхождение системы как части в большие, объединяющие ее системы, и взаимосвязанность системы с другими системами в окружающей среде (необходимость учета целостности охватывающей метасистемы; рассмотрение проблемной ситуации с нескольких разных точек зрения).

### 5.1. Этап первый. Фиксация проблемы

Задача этого этапа — сформулировать проблему и зафиксировать ее документально.

Формулировка проблемы вырабатывается самим клиентом; дело аналитика — выяснить, на что жалуется клиент, чем он недоволен. Это и есть проблема клиента так, как он ее видит. При этом следует стараться не повлиять на его мнение, не исказить его. В беседе лучше не подавать реплик типа «Я согласен (не согласен) с вами», а «Я вас слушаю». (Кстати, этого правила нужно придерживаться и при интервьюировании на последующих этапах: ведь нам требуется информация не от аналитика, а от тех, с кем он беседует.)

Самой грубой ошибкой на этом этапе было бы тут же заняться решением поставленной проблемы. Этого нельзя делать по ряду причин.

1. Клиент обратился за помощью потому, что он не смог решить проблему самостоятельно: ситуация для него оказалась сложной. Следовательно, его модель ситуации неадекватна, а сообщить о ситуации он может только то, что он сам знает, что входит в его модель. Поэтому попытка решать проблему сразу, только с этой информацией заранее обречена на неудачу. По сути дела, последующие этапы и предназначены для сбора информации, недостающей для обеспечения адекватности модели.

2. Впоследствии станет ясно, в том числе и самому клиенту, что первоначальное определение его проблемы является неточным, или неполным, или даже неверным. Слишком часто клиент сам диагностирует свою проблему и слишком часто при этом ошибается. Часто симптомы принимаются за проблему.

Например, когда пациент является к врачу с жалобой на боли в левой руке, врач фиксирует анамнез, но не станет сразу лечить

руку, а направит больного на кардиограмму: возможно, это иррадиация болезненности сердца.

Другой пример. Фирма жаловалась на то, что производственные цеха не успевают изготовлять запчасти по заказу клиентов, а оказалось, что основная задержка — в излишне долгой предварительной канцелярской обработке заказов.

3. В ходе исследования может оказаться, что для устранения проблемы клиента нужно решить вовсе не его, а чью-то еще, совсем другую проблему.

Например, служащие крупной организации жаловались на долгое ожидание лифтов в их многоэтажном здании. Технические службы предложили следующие варианты: а) построить дополнительные лифты; б) установить скоростные лифты вместо старых медленных; в) создать единое диспетчерское управление лифтами. Психолог предложил повесить в предлифтовых холлах большие зеркала. Вариант оказался самым дешевым и очень эффективным: женщины занялись прихорашиванием, мужчины незаметно подглядывали за ними, и жалобы прекратились.

Другие примеры: для решения ряда проблем студентов надо сначала решить проблемы преподавателей; чтобы решить проблемы пациентов, нужно решить проблемы медперсонала.

Таким образом, фиксация проблемы клиента является лишь отправной точкой, началом системного исследования, а не готовой формулировкой проблемы, подлежащей немедленному решению.

Что касается самой фиксации проблемы, то необходимо заметить, что документальное оформление работ, сделанных не только на этом, но и на последующих этапах, необходимо в связи с изъянами человеческой памяти, нарастанием объемов информации по ходу работы, изменениями окружающей обстановки со временем и т.д.

#### **Контрольные вопросы**

1. Почему необходимо документально зафиксировать проблему клиента?
2. Почему не следует приступать к решению проблемы сразу после ее фиксации?

#### **5.2. Этап второй. Диагностика проблемы**

Какой из способов решения проблем применить для решения данной проблемы, зависит от того, выберем ли мы воздействие на самого недовольного субъекта или вмешательство в реальность,

которой он недоволен (возможны случаи, когда целесообразно сочетание обоих воздействий). Задача данного этапа и состоит в том, чтобы поставить диагноз — определить, к какому типу относится проблема.

Иногда решение этого вопроса лежит на поверхности (как в случае с буйно помешанным, которого надо лечить; или с аварией, которую надо устранить; или с конфликтной личностью в коллективе, от которой стараются избавиться). Но часто диагностика проблемы является непростым делом. Ошибка в диагнозе приведет к неверным действиям и принесет лишь вред. Хотя при нашем старании осуществить улучшающее вмешательство этот вред будет снижен.

Постановка диагноза — сложное дело. Поскольку трудно дать какие-то общие теоретические рекомендации по выполнению этого этапа, диагностика оказывается более искусством, чем наукой, в ней большую роль играют интуиция, опыт и везение. И все же есть подсказки, как это делать.

Например, английский философ Дж. Милл советует: «Ищи то, что является общим для каждой неудачи и что никогда не появляется в случае успеха». В каких-то случаях этот совет может помочь.

#### **Контрольное задание**

1. Попробуйте сформулировать соображения, которые помогли бы вам сделать выбор между тем, нужно ли воздействовать на субъект или надо вмешиваться в саму проблемную ситуацию.

#### **5.3. Этап третий. Составление списка стейкхолдеров**

Нашей конечной целью является осуществление улучшающего вмешательства. Каждый этап должен на шаг приблизить нас к нему, но надо специально заботиться, чтобы этот шаг был именно в нужную, а не в другую сторону.

Для того чтобы впоследствии учесть интересы всех участников проблемной ситуации (а именно на этом основано понятие улучшающего вмешательства), необходимо сначала узнать, кто же вовлечен в проблемную ситуацию, составить их список. При этом важно не пропустить никого: ведь невозможно учесть интересы того, кто нам неизвестен, а неучет кого-либо грозит тем, что наше вмешательство не будет улучшающим. Таким образом, список участников проблемной ситуации должен быть *полным*.

К сожалению, поставленная задача невыполнима. Из-за открытости всех систем все в мире взаимосвязано (следствие второго

свойства системы), и, значит в проблемной ситуации так или иначе участвует вся Вселенная (рис. 5.4), переписать бесконечное число ее частей — невыполнимое дело. Выход состоит в том, чтобы описать бесконечное разнообразие Вселенной упрощенно, — конечно, через модель *классификации*. И в самом деле, хотя действительно все в мире связано с нашей проблемной ситуацией, но связано в разной мере: одни находятся вблизи нее, другие — вдалеке; одни тесно, сильно, прямо, непосредственно связаны с нею, другие — слабо, опосредованно, косвенно. Прямые участники в силу их связанности с косвенными обладают информацией о последних и так или иначе представляют их в ситуации. Это позволяет всю Вселенную разбить на два класса: в первый класс отнесем только непосредственных участников ситуации, во второй — всех остальных (рис. 5.5), и ограничимся теперь учетом только попавших в первый класс. Так в определенной ограниченной окрестности проблемной ситуации оказывается теперь конечное число элементов, и их перепись становится реальным делом. Но требование полноты списка («поголовной переписи») остается и даже ужесточается.

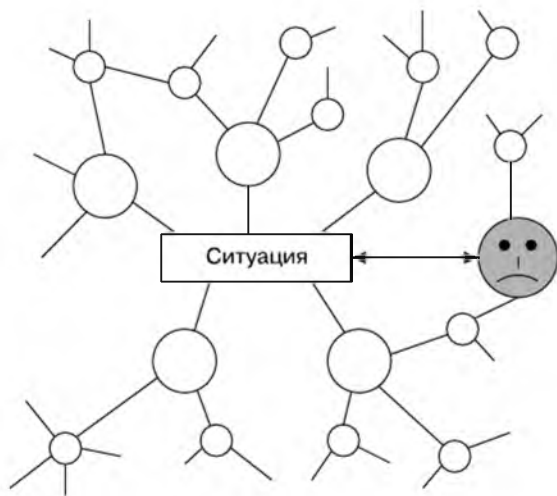


Рис. 5.4

В соответствии с канонами классификации, описанными в главе 3, каждому классу должно быть присвоено имя, которое будут носить все его члены. Впервые это было сделано в английском языке. Была использована аналогия рис. 5.5 с ситуацией на ипподроме: на прямоугольном поле происходят скачки, а при-

шедшие на них зрители делают ставки в тотализаторе на полюбившихся им лошадей. Ситуация одна, интересы разные — полная аналогия с любой другой проблемной ситуацией. Игроки в тотализатор называются stakeholders («держатели ставок»). Было предложено таким же термином обозначать всех «непосредственных» участников любой проблемной ситуации. Термин прижился, пополнив профессиональный язык системных аналитиков. При переводе его на русский язык разные авторы предлагали разные варианты (например, «акционеры», «заинтересованные стороны»), но каждый из них был неточным (у акционеров совпадающие интересы; среди участников могут быть и незаинтересованные стороны). Поэтому в конце концов остановились на прямом заимствовании иностранного термина — всех прямых, непосредственных участников проблемной ситуации будем называть одним словом «стейкхолдеры». Это всего лишь еще один профессиональный термин иностранного происхождения, каких немало в русском языке.

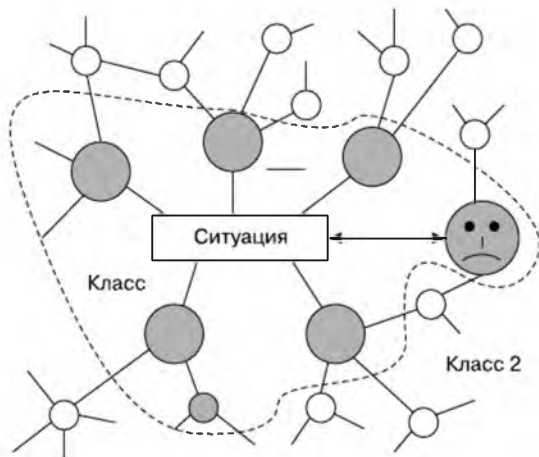


Рис. 5.5

**Трудности составления списка стейкхолдеров.** Итак, перед нами задача составления полного списка стейкхолдеров нашей проблемной ситуации. В принципе, задача выполнима: число стейкхолдеров конечно. Но на практике эта задача трудная.

Главная трудность связана с оценочностью (а следовательно, с субъективностью) характеристик принадлежности к классу стейкхолдеров. Кого еще считать «близким», «непосредственно связанным», а кого уже нет? Граница между прямым и косвен-

ным участием должна быть проведена, но она относительна. Например, семья проигравшего в тотализатор крупную сумму — непосредственный или косвенный участник? Или более важный пример: список стейкхолдеров для следователя — это список вызываемых на допрос. Оказывается, кроме преступников и прямых свидетелей преступления, в этот список, для повышения надежности информации, приходится включать и косвенных свидетелей: последние ничего не знают о самом преступлении, но зато многое знают о его участниках и прямых свидетелях.

Аналогичные проблемы возникают при экономическом анализе положения фирмы на рынке (кого из необъятной среды внести в стейкхолдеры?), при проектировании технического устройства (кто так или иначе будет иметь с ним дело — в его производстве, эксплуатации, торговле, сервисе, утилизации и т.д.?).

Руководящим принципом выделения стейкхолдеров является то, что этот класс является полем, с которого будет собираться информационный урожай обо всей ситуации. Эта информация нужна для построения адекватной модели. Так что к стейкхолдерам причисляются все, кто обладает необходимой информацией.

Однако сама по себе фактическая вовлеченность субъекта в проблемную ситуацию еще не является гарантией обладания необходимой информацией. Участники ситуации могут выявить проблемы, связанные с ней, но для проектирования соответствующих разделов улучшающего вмешательства могут потребоваться более глубокие, специальные знания по конкретному вопросу. В таких случаях придется прибегать к услугам *экспертов*, специалистов по таким вопросам. Какие именно эксперты потребуются, выяснится лишь на пятом этапе, описанном ниже. Но участие пусть некомпетентных, но прямых стейкхолдеров будет необходимым для оценивания и критики описаний и проектов, предлагаемых экспертами, так как только сам стейкхолдер в состоянии определить, соответствуют ли эти описания и проекты его интересам.

Очень разумным советом является предложение включить в команду для оценивания организации как *внешнего* наблюдателя, отлично умеющего выслушивать других и наблюдать самому, так и *внутреннего* наблюдателя с осязательным опытом работы в системе. При этом рекомендуется внутренних представителей брать из числа работников с двух-трехлетним стажем работы в фирме, чтобы они уже увидели ее недостатки, но не успели свыкнуться с ними.

**Подсказки, облегчающие работу.** Опыт, накопленный при выполнении этого этапа, может быть оформлен в виде подсказок, эвристик, полезных советов, следуя которым можно повысить полноту списка стейкхолдеров. Приведем несколько таких подсказок, найденных в разных источниках.

1. Список стейкхолдеров есть модель черного ящика для проблемной ситуации. Нас ожидают известные нам по второй главе ошибки первого, второго и третьего родов и нужно принять любые доступные меры для их предотвращения. Но это непростое дело.

Например, в 1970-х гг., когда обнаружились проблемы в народном хозяйстве СССР, выход виделся в совершенствовании управления, в частности в программно-целевом управлении. Для этого все ведомства строили «деревья целей», на основе которых разрабатывались кратко-, средне- и долгосрочные планы. Например, группа московских экономистов проделала эту работу для Министерства морского флота СССР. За основу они взяли модель черного ящика министерства. Схема-то проста: надо учесть ниже-, выше- и рядом стоящие системы. Вышестоящие системы были очевидны: ЦК КПСС и Совет Министров; в качестве нижестоящих было решено взять флот каботажный и флот дальнего плавания; рядом стоящими системами были названы флоты социалистических и капиталистических государств. По соответствующей методике была составлена целевая программа развития Морфлота. Наступил 1984-й год, и в средствах массовой информации стали появляться сообщения о развале этой системы. Результат не совпал с ожиданиями, — верный признак неадекватности модели. При ближайшем рассмотрении обнаруживаются ошибки второго рода: например, в число стейкхолдеров не попали железнодорожный и речной транспорт. Но главной ошибкой был неучет собственных интересов системы, в результате чего в инфраструктуре остро не хватало жилья, детских, медицинских, культурных учреждений, это привело к уходу из системы квалифицированных кадров, даже капитанов судов. Таковы последствия идеологии, считавшей, что собственные, а тем более личные интересы несущественны, что-то вроде «пережитков капитализма».

Так что подсказка «черный ящик» советует, *что* нужно сделать, а *как* это будет сделано — зависит от аналитика.

2. «Безмолвные стейкхолдеры». Часто в число стейкхолдеров следует включать не только субъектов (индивидов, группы, организации), но и других участников ситуации. В конце 1980-х гг.



в Международном институте прикладного системного анализа (Вена, Австрия) под руководством Р. Акоффа состоялся «круглый стол» на тему «Искусство и наука системной практики». Одним из многих результатов этой конференции была замечательная рекомендация о повышении полноты списка стейкхолдеров за счет обязательного включения трех «безмолвных» стейкхолдеров:

1) будущие поколения (их еще нет, но их интересы необходимо учесть, чтобы не создать им проблем нашим вмешательством в сегодняшнюю реальность, как это сделали с нами предыдущие поколения — долги, исчерпание даже возобновимых ресурсов, проблема атомных и промышленных отходов, кислотные дожди и т.п.);

2) прошлые поколения (их уже нет, но их интересы представлены оставленной нам ими культурой. Вмешательство нельзя признать улучшающим, если оно наносит хоть какой ущерб материальной или духовной культуре);

3) окружающая среда (вмешательство не может считаться улучшающим, если оно вредит среде нашего обитания, живой и неживой природе).

Как именно интересы безмолвных стейкхолдеров вы учтете в своем вмешательстве, зависит от природы проблемы и от того, насколько глубоко разработчики прониклись идеологией улучшающего вмешательства.

3. Мнемоническая подсказка «ПИРС». Чтобы не забыть все элементы некоторого множества, часто используются мнемонические подсказки типа «Каждый охотник желает знать, где сидит фазан» — о цветах радуги. Достаточно запомнить слово ПИРС, и оно напомнит вам, кого следует включить в список стейкхолдеров, так как составлено из первых букв их наименований (рис. 5.6).

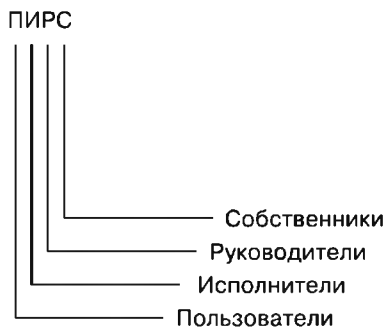


Рис. 5.6

В каждой ситуации есть те, кто в ней что-то получает, покупает, чем-то пользуется. Наше вмешательство может изменить их положение и возможности, а мы обещали осуществить улучшающее вмешательство, не ущемляющее их интересов.

В каждой ситуации есть те, кто работает, выполняя какие-то действия. Наше вмешательство не должно им навредить. Надо внести их в список стейкхолдеров.

В любой ситуации участвуют какие-то организации, предприятия, учреждения. Изменения будут вноситься в интересах одних из них («проблемосодержащих»), осуществляться за счет ресурсов других («проблеморазрешающих») и как-то сказываться на остальных. Можно не сомневаться, что если наше вмешательство не понравится кому-то из руководителей любой из организаций, он употребит свои влияние, связи, ресурсы, чтобы воспрепятствовать этому. Наша задача — сделать каждого из них союзником либо сочувствующим, на худой конец — нейтральным наблюдателем, но никого — противником. Иначе вмешательство не будет улучшающим.

В любой ситуации присутствуют материальные ресурсы: земля, вода, здания, сооружения, минеральные запасы и т.д. И все они принадлежат кому-то: государству, группам людей, частным лицам. Вмешательство в ситуацию неизбежно коснется интересов кого-то из них, а мы намерены никому не навредить. Следовательно, они должны быть внесены в список.

4. Подсказка европейской комиссии. Еще одна подсказка предложена Европейской комиссией в рекомендациях для планирующих получить на некий проект грант TEMPUS/TACIS. Вот перевод соответствующего раздела.

«Следующие вопросы могут помочь вам определить, кто является стейкхолдером:

— Что вам (составляющим план) нужно знать? Чье мнение и опыт были бы полезны?

— Кто будет принимать решения по проекту?

— Кто предполагается быть исполнителем этих решений?

— Чья активная поддержка существенна для успеха проекта?

— Кто имеет право быть участником проекта?

— Кто может воспринять проект как угрозу?»

Отвечая на эти вопросы применительно к вашей ситуации, вы введете в число стейкхолдеров: а) нужных вам участников ситуации как экспертов, б) представителей проблеморазрешающих систем, в) то же от проблемосодержащих систем, г) кого желательно иметь

помощником или союзником при осуществлении проекта, д) субъектов, юридически связанных с ситуацией, е) тех, на кого неосторожное (неулучшающее) вмешательство может повлиять отрицательно.

Использование любой или всех из приведенных подсказок повысит полноту вашего списка стейкхолдеров, но не гарантирует, что он получится исчерпывающим. Возможно, впоследствии, на более поздних этапах обнаружится, что кто-то существенный все-таки пропущен, и придется вернуться к этому этапу и пополнить список.

#### Контрольные вопросы

1. Кто такие «стейкхолдеры»?
2. Значит ли то, что в дальнейшем мы будем учитывать интересы только «стейкхолдеров», т.е. что интересы «нестейкхолдеров» вообще никак не будут учтены?
3. Запомнили ли вы подсказки, способствующие составлению более полного списка «стейкхолдеров»?

#### 5.4. Этап четвертый. Выявление проблемного месива

Стейкхолдеры имеют интересы, которые нам предстоит учесть. Но для этого их необходимо знать. Пока же мы имеем лишь список обладателей интересов. Первая порция информации, которую необходимо получить о стейкхолдере, — это его собственная оценка ситуации, проблемной для нашего клиента. Она может быть разной: у кого-то из стейкхолдеров могут быть свои проблемы (оценка отрицательна), кто-то вполне удовлетворен (оценка положительная), другие могут нейтрально относиться к реальности. Так проявится «выражение лица» каждого стейкхолдера (рис. 5.7). По сути, мы должны выполнить работу, которую делали на первом этапе с клиентом, но теперь с каждым стейкхолдером в отдельности.



Рис. 5.7

Полученный перечень субъективных оценок существующей реальности (которая для клиента является проблемной) Р. Акофф предложил называть проблемным месивом (mess). Хотя этот термин имеет легкий жаргонный оттенок (из-за чего некоторые авторы предпочитают называть его более сухо — «проблематикой»), он удачно подчеркивает очень существенный, принципиально важный момент: входящие в него суждения не являются независимыми, они переплетены, взаимосвязаны (как суждения об одном и том же). Это означает, что они образуют целостную систему, со всеми вытекающими отсюда последствиями.

В данном случае главным следствием является такое свойство, как неделимость на части (десятое свойство системы). Отсюда очевидной становится не то чтобы недопустимость (к сожалению, не всегда удается удержать кого-то от совершения глупости), но нежелательность, неправильность решения какой-то одной, пусть и очень важной проблемы в отрыве от других компонент проблемного месива.

Таким образом, проблема клиента выступает в месиве как его ядро, зародыш, вокруг которого сгруппированы мнения остальных стейкхолдеров. Теперь ясно, что нашей задачей является не решение проблемы клиента как таковой, а работа с проблемным месивом в целом. Этому и служат проектирование и реализация улучшающего вмешательства, решающего проблему клиента с учетом интересов всех стейкхолдеров.

**Технологии выявления проблемного месива.** Дж. Уорфилд разработал конкретную технологию разработки проблемного месива, успешно применяемую им на практике.

Первый этап его методики, «Метод групповой формулировки» (NTG — Nominal Group Technique), выявляет проблемное месиво путем постановки перед группой стейкхолдеров вопроса: «Какие проблемы вы видите в данной проблемной ситуации?» Каждый из них создает письменную формулировку осознаваемых им проблем, и их распечатки вывешиваются на стену на общее обозрение. Минут через 15—30 генерация идей затухает. Затем проводится обсуждение каждой из них с целью уточнить, что именно имеет в виду автор. Такое обсуждение может занять два-три часа, так как число проблем обычно оказывается от 40 до 160, а обсуждение идет в дискуссионной манере.

Однако практика решения проблем реальной жизни крупных организаций показывает, что выявление их проблемного месива часто не может быть сведено лишь к разовому, однократ-

ному интервьюированию стейкхолдеров. Каждый участник проблемной ситуации смотрит на нее со своей локальной позиции и видит лишь одну из ее сторон и лишь те детали этой стороны, которые содержатся в его модели реальности. Этого бывает недостаточно для адекватного описания ситуации. В таких случаях выявление проблемного месива становится тщательным исследованием ситуации, построением подробной, богатой картины, содержащей возможно более полную информацию о действительных проблемах, связанных с данной ситуацией.

Ограниченность описания субъектом реальности вызвана тем, что он воспринимает реальность только через свои модели. Поэтому увеличения притока нужной информации можно добиться, предлагая субъекту смотреть на ситуацию не с одной (привычной для него) точки зрения, а используя и другие модели.

В технологии системного анализа используются разные способы реализации этого замысла. Например, применялось разделение стейкхолдеров на две группы — сторонников решения проблемы «сверху вниз» и «снизу вверх», т.е. тех, кто предпочитает планировать от глобальной цели, декомпозируя ее до целей нижайшего уровня, и тех, кто старается цели нижайшего уровня последовательно агрегировать до синтеза глобальной цели. Этим группам и предлагается сформулировать предполагаемые проблемы каждого стейкхолдера, а затем в диалектической дискуссии выработать итоговую формулировку проблемного месива.

Другой вариант предложения набора различных представлений об организации (метафор) состоит в следующем<sup>1</sup>: на организацию можно смотреть как на «машину», «организм», «мозг», «культуру», «политическую систему», «инструмент подавления», и т.д. Каждая из этих точек зрения высвечивает некоторые особенности, не видные с других позиций, а некоторые аспекты являются общими. Это и позволяет увидеть ограниченность модели, которой мы придерживались вначале, и развернуть более подробно проблемное месиво. В публикациях сообщается о практической полезности и других метафор, например, «организация как непрерывно изменяющаяся система», «как сумасшедший дом», «как карнавал».

Метафора «машина» обращает внимание на назначение (цель) системы, на состав частей, их функции и связи между ними,

<sup>1</sup> См.: Jackson M.C. *Systems Thinking: Creative Holism for Managers*. John Wiley & Sons Ltd.: University of Hull, UK, 2003.

обычно выражаемые иерархическими структурами. Метафора «организм» описывает систему, исходной целью которой является выживание в условиях турбулентной окружающей среды. Метафора «мозг» выделяет значимость информационных процессов, принятия решений, управления, обучения, коррекции целей. Метафора «культура» фиксируется на учете индивидуальных особенностей работников, их ценностей, личных устремлений; на корпоративной культуре, сплачивающей коллектив. Политическая метафора сосредоточивает внимание на взаимоотношениях между людьми в организации, отношениях власти и ответственности, соперничества и сотрудничества, разрешении конфликтов и т. д. Метафоры «инструмент подавления» и «сумасшедший дом» концентрируются на негативных аспектах жизни в организации: ограничение свободы в мыслях и в раскрытии способностей, эксплуатация, преобладание наказаний над поощрениями, дискриминация по каким-то признакам. Каждая метафора сопоставляется с моделью системы, и выявление проблем осуществляется путем описания рассматриваемой системы в терминах данной модели.

Еще один вариант раскрытия разнообразия подходов к проблемной ситуации в менеджменте — указать на наличие разных парадигм. Словом «парадигма» обозначено видение мира, совокупность идей, предположений, убеждений, которыми человек руководствуется в своих действиях.

Следует подчеркнуть разницу между метафорами и парадигмами. Метафора — это частичное, одностороннее представление об объекте или явлении. Различные метафоры не противоречат, а дополняют друг друга. Приверженцы же различных парадигм считают, что они предлагают наилучший способ описания наблюдаемой «реальности». Поэтому парадигмы несовместимы, и порождаемые ими описания — тоже. Поэтому рекомендации, даваемые менеджеру экспертами, придерживающимися разных парадигм, противоречивы, что вынудит его искать нечто «среднее».

Выделяют четыре парадигмы: функциональную (the functionalist paradigm), объяснительную (the interpretive paradigm), освободительную (the emancipatory paradigm), постмодернистскую (the postmodern paradigm).

«Функциональная» парадигма исходит из того, что с помощью научных методов можно понять, как система действует, выяснив природу частей системы, взаимодействия между ними и между системой и окружающей ее средой. Полученные знания

помогут менеджеру улучшить управление организацией. С этой парадигмой обычно связываются метафоры «машина», «организм», «мозг», «изменяющаяся система».

«Объяснительная» парадигма считает, что организации — это социальные системы, создаваемые для достижения субъективных целей, вытекающих из интерпретации обстоятельств, в которых оказался субъект. Организация создается людьми, и люди в ней действуют, — в соответствии со своими интерпретациями реальности. Эта парадигма направлена на достижение понимания смыслов, которые вносят организации в совместную деятельность, определения совпадающих областей этих смыслов, и тем самым — на создание общей целенаправленной работы. Тем самым менеджеры ориентируются на достижение необходимого уровня общей корпоративной культуры в организации, принятия решений с участием работников, повышение их приверженности организации. С этой парадигмой обычно связаны культуральная и политическая метафоры.

«Освободительная» парадигма нацелена на «освобождение» личностей и групп в организациях и обществе. Она настороженно относится к власти и старается предавать гласности ее методы и конкретные факты подавления и принуждения, которые она считает противозаконными. Она критикует status quo и призывает к радикальным реформам и даже революционному изменению существующего порядка. Она против любых форм дискриминации (по расе, полу, статусу, возрасту и т.д.). С этой парадигмой часто связаны метафоры «инструмент подавления» и «сумасшедший дом».

«Постмодернистская» парадигма находится в оппозиции рационализму всех трех модернистских парадигм. Она считает, что социальные системы настолько сложны, что попытки других парадигм дать им рациональное объяснение бесполезны. В частности, они не могут объяснить аспекты удовольствия, развлечения, эмоциональности в действиях людей в организации. Она настаивает на открытом разрешении конфликтов, свободе выражения противоположных мнений, поощряя вариативность и разнообразие. Этой парадигме соответствует метафора «карнавал».

До сих пор мы говорили о «проблемном месиве» как своего рода «фотографии» текущего состояния отношений стейкхолдеров к существующей ситуации. Однако все происходящее со временем претерпевает изменения, и очень многое зависит от того, что будет происходить в дальнейшем. Поэтому для действительно

«системного» решения проблемы необходимо опираться не только на информацию о текущем состоянии («фотографию») — *статическую* модель системы, но и на ее *динамическую* модель («кинофильм»).

Таким образом, формулирование проблемного месива требует выявить совокупность взаимосвязанных угроз и возможностей для организации или учреждения, проблему которых мы взялись решать. Вот эта-то совокупность и является полной картиной («rich picture») проблемной ситуации, *проблемным месивом* («mess»). Она определяет, как организация довела бы себя до краха, если она будет продолжать действовать так же, как до сих пор, т.е., если она не сможет адаптироваться к изменениям во внутренней и внешней среде, даже если бы она могла точно предсказать ход этих изменений. Тем самым выявляется то, чего организация или учреждение должны избегать любой ценой.

Такой подход к формулированию проблемного месива практически одинаков как для организации, которая уже оказалась в кризисе, так и для той, которая лишь встревожена негативными тенденциями и желает предотвратить назревающий кризис.

Иногда формулирование проблемного месива можно свести к выявлению проблем стейкхолдеров, что можно выполнить по типу мозгового штурма на сессии стейкхолдеров или их представителей. Но при достаточно большой сложности ситуации может потребоваться более детальное ее рассмотрение. Например, Р. Акофф рекомендует делать это в несколько этапов.

1. Выполнение анализа системы. Это — подробное описание того, как организация или учреждение работает в настоящее время. Удобно это представить серией блок-схем, показывающих, как в организации входной материал приобретает и преобразуется, как в ней проходят потоки денег и информации. Эти блок-схемы можно готовить по отдельности, но обычно полезно скомбинировать их в единую схему или изобразить на прозрачных слайдах, при наложении которых друг на друга легко просматриваются их взаимосвязи.

2. Выполнение анализа препятствий. Определите те характеристики и свойства организации, которые мешают ее прогрессу или препятствуют изменениям (например, конфликты или традиции).

3. Определение сценариев (опорных проектов) возможного будущего. Сформулируйте, к чему приведет ход событий, каково



будущее организации, если будут отсутствовать изменения в ее существующих планах, программах, политике и практике. Это должно обнажить возможность саморазрушения организации, показать, как препятствия, описанные на этапе 2, помешают произвести необходимые перемены.

**Структурирование проблемного месива.** Индивидуальные представления стейкхолдеров о проблемной ситуации, зафиксированные в протоколах собеседований с ними, являются исходными *данными*, содержащими сведения о рассматриваемой системе пока еще в неявной форме.

Извлечение сведений выражается в построении все более содержательных моделей (*данные, информация, знания, понимание, мудрость* — см. главу 3).

Первый шаг состоит в сортировке, группировке, классификации данных. Такая первичная обработка дает описание, названное Р. Акоффом *информацией*. Применительно к этапу формирования проблемного месива эта операция приводит к образованию групп проблем при статическом описании проблемного месива и к появлению сценариев (опорных проекций) при динамическом.

Есть технологии, не требующие дальнейшей структуризации проблемного месива (например, идеализированное проектирование). Однако может встретиться ситуация, когда потребуется перейти к учету взаимосвязей между компонентами проблемного месива, т.е. к построению моделей следующего уровня, типа «знание».

Типичным примером этого служит ситуация, когда заведомо ясно, что наличных ресурсов явно недостаточно для решения всех проблем, образующих месиво.

Встают вопросы, каким проблемам отдать предпочтение и как правильно учесть все остальные. Ответ состоит в том, чтобы для разных распределений ресурсов по проблемам месива спроектировать улучшающие вмешательства, а из всех таких вариантов выбрать тот, который дает наибольшее улучшение при заданных ограничениях (т.е. оптимальный). Обычно в числе ограничений, кроме объема ресурсов, значится обязательное улучшение ситуации для клиента, но и при этом может оказаться, что основные ресурсы не обязательно должны направляться на его личную проблему.

Задача распределения ресурсов и определения очередности решения проблем существенно облегчается, если удастся как-то упорядочить проблемное месиво. Это возможно не всегда. Примером, когда это возможно, является планирование целевого проек-

та, в котором каждый участник должен определить для себя проблему и выполнить свою роль. В этом случае рекомендуется после выявления проблемного месаива заняться построением иерархического дерева проблем, выявляя тем самым причинно-следственные отношения между ними.

Один вариант техники построения дерева проблем можно описать следующим образом. Стейкхолдеры (участники проекта), ознакомившись с проблемным месаивом, выписывают, каждый по своему усмотрению, ключевую, фокальную проблему во всем месаиве. Каждый руководствуется собственными интересами и своими проблемами. Далее проводится коллективное обсуждение ранжирования проблем, пока участники не придут к согласию, какая же проблема является отправной. Затем берется следующая проблема и сравнивается с первой. Тогда:

— если вторая проблема является причиной, условием для первой, она помещается уровнем ниже;

— если она является следствием первой, она помещается выше;

— если она не является ни следствием, ни причиной, то ставится на тот же уровень.

По этой схеме рассматриваются остальные проблемы. По ходу работы может оказаться целесообразным изменить фокальную проблему, но это не лишает смысла и значимости проведенный анализ.

Например, если фокальной проблемой взята «Недостаточная численность квалифицированных профессионалов такой-то специальности», то ее причина может быть сформулирована как «Недостаточные масштабы и качество высшего образования по данной специальности», а следствием — «Недоукомплектованность и неэффективность государственных и негосударственных предприятий соответствующего профиля».

При наличии дерева проблем вопрос об очередности проблем решается очевидным образом: вышестоящие проблемы не могут быть решены, пока не решены нижестоящие.

Однако случаи, когда проблемы удается выстроить в идеальную древовидную иерархическую структуру, являются редкостью. Из-за всеобщей взаимосвязи в природе (следствие второго свойства системы) даже только существенные связи между компонентами проблемного месаива чаще образуют сетевую структуру, в которой взаимные влияния образуют и замкнутые петли обратной связи. Именно это приводит к пониманию, что

для сложных проблем не существует простых решений, что любая проблема не имеет единственной причины, хотя среди них есть «более важные» и «менее важные».

В целом же и при недревовидности месива очередность и интенсивность решения проблем должны определяться именно структурой месива, стремлением продвинуть к улучшению все месиво в целом, а не тем, кто из стейкхолдеров настойчивее добивается решения его проблемы.

Дж. Уорфилд предлагает другой подход к структурированию проблемного месива — строить не древовидную, а сетевую структуру<sup>1</sup>. Он называет это «построение объяснительной модели» (ISM — Interpretive Structural Modeling).

Для каждой пары проблем задается вопрос: «Усугубляет ли проблема  $x$  проблему  $y$ ? Ответ является основой для включения ребра между  $x$  и  $y$  в граф и нанесения направленности на ребро. При этом может потребоваться уточнение формулировок  $x$  и  $y$ . Решение о наличии связи между  $x$  и  $y$  и ее направленности принимается голосованием по большинству («не знаю» приравнивается к «нет»). В итоге образуется направленный граф, описывающий структуру месива.

Из-за большого числа рассматриваемых пар эта работа может выполняться с помощью компьютерной поддержки (соответствующие программы можно бесплатно скачать с <http://www.gmu.edu/departments/t-iasis>).

Полученный граф можно далее преобразовывать в меньшее число более простых укрупненных структур второго и третьего порядка, группируя проблемы по каким-то признакам. Например, автор рекомендует группировать проблемы по важности. Каждому стейкхолдеру предлагается выбрать из графа пять важнейших проблем и далее работать с полученными пятерками, например, анализируя их перекрываемость.

Конечной целью структурирования является преобразование графа так, чтобы стрелки были направлены слева направо, что выделяет проблемы, которые следует решать в первую очередь, и те, которые можно решать позже. Конечно, остаются сложности в случае появления циклов в графе, которые подлежат отдельному рассмотрению.

Структурирование проблемного месива является подготовительным шагом к последовательному решению совокупности

<sup>1</sup> См.: *Warfield J.N.* Introduction to Systems Science. Singapore: World Scientific, 2006.

проблем. Однако метод последовательных, непрерывных, мелких улучшений, «непрерывного совершенствования» многими критикуется как полумера, слабо согласованная с изменчивостью среды, не полностью учитывающая эмерджентность системы.

Когда устраняют нежелательное, обычно получают еще более нежелательное. Избавляясь от телевизионной программы путем переключения на другой канал, мы попадаем на программу, которая нравится нам еще меньше. Применение дуста против вредных насекомых наносило вред окружающей среде. Законодательное запрещение алкоголя породило организованную преступность. Заключение в тюрьму часто лишь повышают свою преступную квалификацию. Поэтому избавление от нежелательного часто является лишь уходом от ответственности.

В качестве альтернативы инкременталистскому подходу особого упоминания заслуживает методика «идеализированного проектирования» Р. Акоффа<sup>1</sup>. Эта методика вообще не требует упорядочения проблемного месива: выявление проблем и их последствий нужно лишь для осознания необходимости перемен. А последующее проектирование перемен исходит из предположения будто существующая (и не удовлетворяющая нас) система «исчезла прошедшей ночью», и работа направлена не на исправление нежелательных особенностей организации, а на проектирование желательных.

**Участие стейкхолдеров в анализе.** Самым лучшим источником достоверной, точной и полной информации о стейкхолдере является, конечно, он сам. Чтобы узнать, каковы его проблемы, необходимо с ним связаться и побеседовать. Так мы столкнулись с необходимостью вовлечения в процесс анализа самих стейкхолдеров. (Впоследствии выяснится, что это необходимо и для всего дальнейшего процесса, а не только на данном этапе.)

Никто не может лучше них самих выразить их мнение. Но получение информации из первых рук наталкивается на *проблему доступности* стейкхолдера. «Безмолвные» стейкхолдеры по природе своей неконтактны; некоторые участники ситуации не имеют возможности или желания сотрудничать с аналитиком; часть стейкхолдеров может быть не лицом, а группой, да еще многочисленной, а некоторые лично недоступны по географическим или политическим причинам. Но информация о них все равно нужна!

---

<sup>1</sup> См.: Акофф Р., Магидсон Дж., Эддисон Г. Дж. Идеализированное проектирование / пер. с англ. Ф.П. Тарасенко. Днепропетровск: Баланс Бизнес Букс, 2007.

Проблема недоступности решается следующим образом. Все стейкхолдеры делятся на два типа: обязательные и желательные участники анализа.

Сначала следует определить проблемосодержащие и проблеморазрешающие системы среди организаций-стейкхолдеров. С одной проблемосодержащей системой вопрос ясен: это ее представитель обратился к аналитику и будет клиентом. Но может быть, в эту проблему включен еще кто-то? Далее, нужно выделить проблеморазрешающую(-ие) систему(-ы), т.е. тех, за чей счет, с чьей помощью будет реализовываться вмешательство. Часто одна и та же организация является и проблемосодержащей, и проблеморазрешающей (например, мощная фирма), но иногда они разнятся (скажем, школа и гороно, муниципальные и федеральные власти).

Принципиально важно то, чтобы первые лица проблемосодержащей(-их) и проблеморазрешающей(-их) систем являлись *обязательными* участниками системного анализа. Без их участия вся работа не имеет практического смысла, становится бесперспективной: ведь в их руках ресурсы и полномочия, необходимые для решения проблемы. Именно поэтому гарантия их участия включена обязательным условием в контракт и при непринятии этого условия аналитик не берется за работу.

Остальные стейкхолдеры являются *желательными* участниками. То есть лучше всего, если их удастся включить в коллективный процесс системного анализа. Но если с кем-то это почему-либо не удастся, то существует возможность получить нужную информацию о нем и без его личного участия. Эта возможность основана на следствии из второго свойства системы — всеобщей взаимосвязи в природе. Между аналитиком и недоступным стейкхолдером существует цепочка субъектов. Будучи связанными, они содержат информацию друг о друге, тем большую, чем они ближе друг к другу. Поэтому мы можем попытаться в стремлении добыть информацию о недоступном стейкхолдере войти в контакт с ближайшим к нему доступным членом цепочки и «выпытывать» нужные нам сведения из последнего. Это, конечно, менее надежный, чем сам стейкхолдер, источник информации о нем, но у нас нет лучшей возможности. Самое последнее дело — аналитику самому выражать мнение стейкхолдера: ведь он в этой цепи наиболее отдаленное звено. Это допустимо только при условии, если все остальные в цепи недоступны.

Задача найти достаточно осведомленного представителя недоступного стейкхолдера не так сложна, как кажется. Наверное, каждому приходилось, разговорившись с незнакомым человеком,

обнаружить, что вы имеете общих знакомых. Было даже проведено научное исследование этого вопроса учеными Калифорнийского университета. Целевой персоной была определена студентка этого университета. Затем из списка избирателей самого отдаленного от Калифорнии штата Пенсильвания случайным образом было отобрано сто человек, давших согласие участвовать в эксперименте. Каждому из них было вручено письмо на имя девушки, но отослать его прямо ей можно было лишь при условии, что тот ее знает лично. Если нет — письмо следовало отправить кому-либо из своих личных знакомых на том же условии. Почта США предоставляет услугу переписки через посредников, так что письма в конце концов достигли адресата. По числу штемпелей определялась длина конкретной цепочки. Оказалось, для того, чтобы два незнакомых человека из двухсот миллионов связались по цепи знающих друг друга людей, нужно совсем немного звеньев. Самая короткая цепочка была 2 (фермер — его друг детства конгрессмен в Вашингтоне — знакомый конгрессмену профессор того университета), самая длинная — 11, а средняя длина — 4,5. Не следует удивляться: при среднем числе знакомых, равном 100, сеть цепей в 4 человека накроет сто миллионов индивидов.

Итак, в случае недоступности стейкхолдера надо найти как можно более лучшего его представителя и вовлечь его в коллектив, работающий над решением проблемы. В частности, представителями «безмолвных» стейкхолдеров могут быть эксперты, ученые, руководители соответствующих административных органов, общественных организаций — соответствующих профилей.

Осталось сказать, что если стейкхолдером является группа людей (студенчество города, пенсионеры, предприниматели и т.д.), то либо пытаются привлечь компетентного представителя группы (из числа ее лидеров), либо прибегают к методам прикладной социологии и статистики (для выяснения общественного мнения).

Итак, будем считать, что подобранная, проинструктированная и вдохновленная системным аналитиком группа стейкхолдеров (или их компетентных представителей) сформулировала проблемное месиво и по возможности структурировала его.

### **Контрольные вопросы**

1. Что называется «проблемным месивом»?
2. Что является динамическим вариантом проблемного месива?
3. Почему не следует решать проблему клиента в отрыве от проблемного месива?

4. Что значит «работать с проблемным месивом как с целым»?
5. Как решаются трудности, возникающие при недоступности части стейкхолдеров?

### 5.5. Этап пятый. Определение конфигуратора

Необходимым условием успешного решения проблемы является наличие адекватной модели проблемной ситуации, с ее помощью можно будет испытывать и сравнивать варианты предполагаемых действий. Эта модель (или совокупность моделей) неизбежно должна строиться средствами некоторого языка (или языков). Встает вопрос о том, сколько и какие именно языки нужны для работы над данной проблемой и как их выбирать.

Например, если произошло дорожно-транспортное происшествие, то для разрешения возникшей проблемы могут потребоваться языки: правовой (кто за что отвечает), медицинский (состояние участников ДТП до и после), технический (состояние дороги и техники), административный (организация ликвидации всех последствий), экономический (финансовое обеспечение) и т.д.

Важно подчеркнуть, что проблемы реальной жизни не бывают однодисциплинарными, т.е. описываемыми на языке какой-нибудь одной специальности. Однодисциплинарными могут быть только учебные задачки, да и то не всегда (например, физические задачи требуют знания не только физики, но и математики).

*Конфигуратором* называется минимальный набор профессиональных языков, позволяющий дать полное (адекватное) описание проблемной ситуации и ее преобразований.

Вся работа в ходе решения проблемы будет происходить на языках конфигуратора. И только на них. Определение конфигуратора является задачей данного этапа. Подчеркнем, что конфигуратор — это не искусственное изобретение системных аналитиков, придуманное для облегчения их работы.

С одной стороны, конфигуратор определяется природой проблемы. Возьмем, например, геометрический случай. Пусть имеется прямая, на которой помечена точка (рис. 5.8, а). Требуется описать, где она находится. Для этого нужен язык, на котором мы это скажем. Элементами языка являются определенная точка начала отсчета 0 и единичный интервал (рис. 5.8, б). Введя грамматику и синтаксис (операции откладывания единичных интервалов и работы с ними), мы можем сказать, что интересующая нас точка лежит в пятом единичном интервале (рис. 5.8, в).

При необходимости более точного высказывания вводятся доли единичного интервала. Таким образом, наш конфигуратор для данной проблемы состоит из одного языка. Если потребуется описать положение точки на плоскости, придется построить конфигуратор из двух языков, для объемной задачи — из трех.



Рис. 5.8

С другой стороны, конфигуратор можно рассматривать и как еще одно свойство систем, как средство, с помощью которого система решает свою проблему. Например, два глаза и два уха даны нам как материальные носители конфигуратора для определения на плоскости местоположения источника света или звука. Третий язык — для решения объемных задач — возможность поворота головы и соответственно изменения ориентации плоскости определения. Стрекоза, в отличие от летучей мыши, при погоне за мошками лишена возможности вращать головой, и природа встретила ей на «лбу» треугольник с малыми глазками в его углах.

Вернемся к нашей главной задаче — определить конфигуратор нашей проблемной ситуации. Практики часто руководствуются интуицией, здравым смыслом, опытом, советами экспертов. Как всякое субъективное решение, оно может оказаться верным, но может содержать и ошибки. Между тем объективная, не зависящая от чьих-то мнений информация для построения конфигуратора нашей проблемы у нас уже имеется. Правда, в неявной форме — она содержится в протоколах бесед со стейкхолдерами о проблемной ситуации. Дело в том, что каждый из них говорил только о том, что он считает важным, т.е. говорил на языках своего конфигуратора для данной ситуации. Поэтому у нас есть возможность «вычислить» его конфигуратор, анализируя его текст из проблемного месива, но не на предмет того, о чем он говорил, а того, на каких языках он говорил. Кто-то обращал внимание на финансовые аспекты, обсуждал проблемы здоровья. В его конфигураторе — экономический и медицинский языки. Другой упоминал правовые



вопросы и отношения с другими людьми — юридический язык и язык психологии входят в его конфигуратор. И так с каждым стейкхолдером. В итоге мы будем иметь набор конфигураторов всех стейкхолдеров. Конфигуратор ситуации в целом есть их объединение. В него может входить несколько, а может и много языков. Может быть язык, на котором говорят все, на другом — большинство, на третьем — меньшинство, а то и вовсе только один стейкхолдер. Нам предстоит их все использовать; нельзя выбросить ни один язык, иначе соответствующий аспект не будет учтен, что не позволит претендовать на улучшающее вмешательство. Конечно, было бы неразумно для всех стейкхолдеров строить модели на всех языках. Просто при проектировании улучшающего вмешательства нужно кроить его индивидуально — для каждого стейкхолдера строить и использовать модели только на языках *его* конфигуратора.

Наглядным примером этого служит история с включением в состав экипажа Международной космической станции космонавта из Малайзии. Отлично подготовленный к космическому полету молодой астронавт оказался мусульманином, что потребовало включения в его конфигуратор языка исламской культуры. Она предписывает правоверному мусульманину молиться пять раз в сутки. Возник вопрос, как часто и в какие моменты он должен совершать молитву, если МКС обращается вокруг Земли 18 раз в сутки? Далее, молитву полагается совершать лицом в сторону Мекки. Пришлось составить специальную программу, чтобы компьютер определял направление на Мекку в нужный момент времени. Наконец, иерархам исламской церкви пришлось позволить космонавту после туалета пользоваться бумажками, так как в условиях невесомости мусульманский обычай подмывания водой неосуществим.

Подчеркнем, что конфигуратор может помочь в решении вопроса о том, каких сторонних специалистов следует привлечь к решению нашей проблемы: тех, на чьих профессиональных языках из конфигуратора сами стейкхолдеры и сам аналитик говорят недостаточно профессионально для наших целей. Тогда и потребуются внешние эксперты.

Необходимость привлечения сведений из различных областей знания порождает серьезную трудность в практике системного анализа: приходится пользоваться языками конфигуратора, которые понятны не всем участникам разработки улучшающего вмешательства. Ситуация становится похожей на библейскую притчу о строительстве вавилонской башни, которое сорвалось из-за того, что строители разговаривали на разных языках.

Проблема общения всех членов группы может решаться по-разному. Например, в комплексную научно-техническую группу, разработывавшую АСУ хозяйством Томской области, входили экономисты, кибернетики, инженеры, юристы, философы, программисты, руководители-администраторы, и было затрачено около года горячих дискуссий о сути проекта, пока члены группы не выработали что-то вроде общего языка и начали понимать друг друга. Такой общий язык основан на совместном использовании разных представлений информации: словесном, графическом, математическом, табличном, и т.д. Важную роль при этом играло четкое, явное подчеркивание, какие именно модели рассматриваются в данный момент, статические или динамические, проводится аналитическое или синтетическое рассмотрение вопроса.

#### Контрольные вопросы

1. Почему необходимо определить конфигурактор?
2. Как можно определить конфигурактор отдельного стейкхолдера?
3. Как работать с конфигураторами разных стейкхолдеров при проектировании улучшающего вмешательства?

#### 5.6. Этап шестой. Целевыявление

Стремясь к реализации улучшающего вмешательства, мы должны обеспечить, чтобы никто из стейкхолдеров не расценил его отрицательно. Люди дают положительную оценку изменению, если оно приближает их к цели, и отрицательную, если отдаляет от нее. Следовательно, для проектирования вмешательства необходимо знать цели всех стейкхолдеров. Конечно, главный источник информации — сам стейкхолдер.

Мы снова пришли к необходимости провести собеседование с каждым стейкхолдером. Работа будет похожа на то, что мы делали, выясняя их отношение к существующей ситуации, только теперь мы будем спрашивать их о том, чего бы они хотели. В результате будем иметь то, что по аналогии с проблемным месивом можно назвать *целевым месивом*. Знание его позволит спроектировать улучшающее вмешательство. Поясним это схемой на рис. 5.9. Пусть ситуация характеризуется двумя параметрами —  $q_1$  и  $q_2$ . Тогда оценка ситуации стейкхолдером обозначится на схеме точкой. Проблемное месиво изображено группой точек в левом нижнем углу схемы, целевое — в правом верхнем. Теперь ясно, что любое продвижение (изменение ситуации) по траектории, приближающей нас к целевому месиву, — улучшающее. Таких вмешательств

много. Можно остановиться на любом из них, а можно попытаться найти то, которое дает наибольшее улучшение.

При выявлении целевого месива нас подстерегает серьезная трудность. Если в целевом месиве окажутся ошибочные, неистинные цели, то последующая их реализация вызовет, естественно, недовольство, разочарование; вмешательство не будет улучшающим.

Трудность в том и состоит, что цели, *объявленные* стейкхолдером, отличаются от его *истинных* целей. Маловероятно, что мы столкнемся с обманом или сокрытием целей: стейкхолдеры понимают, что в их интересах помочь в осуществлении улучшающего вмешательства, что неверной информацией они себе же навредят. Но даже при полном и добровольном сотрудничестве с нами, добросовестно стараясь правильно изложить свои пожелания, стейкхолдер может испытывать затруднения и ошибаться. Тому есть несколько причин, и наша задача — с учетом их все-таки докопаться до истинных целей. Обсудим основные причины расхождения между объявленными и истинными целями и некоторые способы их преодоления.

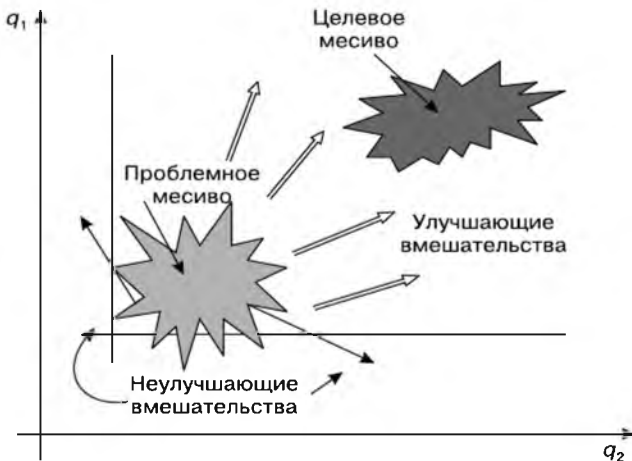


Рис. 5.9

**Опасность подмены целей.** Иногда происходит смешение, подмена целей одних стейкхолдеров целями других.

Такая ситуация обычно возникает, когда специалисты-профессионалы, участвующие в решении проблем, навязывают свое видение мира и тем самым подменяют главные цели своими. «Операция прошла блестяще, но пациент умер» — это не дурная шутка, а действительно встречающееся в среде хирургов высказывание. Известно,

стен случай, когда в кампусе университета графства Сассекс (Англия) было построено внешне очень элегантное здание, за которое в 1965 г. архитектору была вручена золотая медаль Королевского общества архитекторов, однако его внутренняя планировка оказалась непригодной ни для учебных, ни для административных целей. Многие отмеченные конкурсными призами рекламные ролики и плакаты не оказали никакого влияния на дела фирмы (вспомним прекрасную рекламу банка «Империал»). Исследование Национальной службы здоровья в Англии обнаружило, что менее 1% времени подготовки врачей этой службы посвящено профилактической медицине, хотя организация создавалась именно для этой цели. Следует также подчеркнуть опасность того, что системный аналитик, считая себя опытным и знающим профессионалом, может начать выражать свое мнение вместо какого-то стейкхолдера от его имени.

Другой вариант подмены целей — создание «фокусных» групп из экспертов для определения желаний целевых пользователей. Лучше адресоваться к самим пользователям и вовлекать их в проектирование изменений. Например, руководство консервативной партии в Великобритании наняло активиста движения за сохранение окружающей среды, яркого противника Тори, для руководства группой по разработке своей политики по проблемам экологии. Лейбористская партия пока пользуется фокусными группами.

Можно множить такие примеры. Следует проявлять бдительность к этому явлению во время целевыявления.

**Опасность смещения целей и средств.** Все множество целей, которые выдвигаются субъектом на протяжении жизни, включает цели разной важности, долгосрочности, масштабности, достижимости и т.д. Цели субъекта не хаотичны, не независимы. Они связаны, соподчинены, упорядочены, образуя структуру древовидного типа (рис. 5.10).

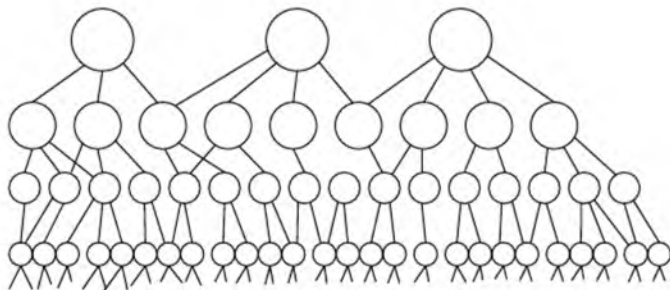


Рис. 5.10

Особенность этого дерева в том, что каждый его элемент имеет двойственный смысл: для связанного с ним элемента верхнего уровня он является *средством*, а для нижнего уровня — *целью*. Поэтому, когда перед стейкхолдером встает вопрос, какова его цель в данной ситуации, он должен определиться, на каком этаже дерева он находится. Здесь-то и заложена возможность ошибки — выбрать средство вместо цели, ошибившись этажом.

Например, описан случай, когда власти города обратились к системно-аналитической фирме с просьбой определить, где лучше всего построить новую больницу. Можно было, согласовав с заказчиком критерии, сравнить с их помощью выделенные площадки и решить оптимизационную задачу, удовлетворив клиента. Но системный анализ рекомендует проверять цели на истинность. На вопрос: «А зачем вам нужна новая больница?» последовал ответ: «Чтобы улучшить медицинское обслуживание населения» (это и была истинная цель). Были рассмотрены другие средства достижения цели и оказалось, что за те же субсидии гораздо эффективнее вместо строительства больницы скоординировать и модернизировать сеть уже существующих медицинских учреждений.

Прием, позволяющий обнаружить перепутывание целей со средствами, состоит в задании вопроса: «А зачем вам это нужно?» Если в ответе есть упоминание других целей, надо определить, относятся ли они к высшему или низшему уровню по сравнению с объявленной.

**Опасность неполного перечисления целей.** Во многих случаях желаемое будущее имеет комплексный характер и его описание состоит не из одной, а нескольких целей. Очень опасным является случай, когда субъект перечислит не все из них, по забывчивости или сочтя какие-то из них неважными. Даже если названные цели истинны, реализация неполного комплекта множественной цели дает абсолютно неприемлемый результат.

Например, в одной из областей было дано поручение разработать предложение о повышении экономической эффективности деревообрабатывающей отрасли. Было, в частности, предложено слить мелкие предприятия в одно крупное объединение с очевидными выгодами технологического и экономического характера. Местные власти, однако, заблокировали этот проект, несмотря на то, что он вполне отвечал заданному критерию. Оказалось, что при образовании крупного объединения деревообрабатывающие предприятия перейдут из системы местной промышленности

в подчинение союзного министерства. Хотя при этом доходы действительно возрастут, но отчисления в местный бюджет снизятся, как и процент производимых материалов и изделий, распределяемый в области. Так неполнота целевая явления перечеркнула большую работу по созданию проекта.

В инженерном фольклоре есть целая серия анекдотов под общим названием «Правильно формулируй техническое задание». Это выдуманные смешные истории, в которых иллюстрируется, насколько абсурдный результат получается, если абсолютно точно выполнить неполный комплект заданных требований.

К сожалению, трудно дать рекомендации, как добиваться полноты состава множественной цели, кроме настойчивого многократного обращения к респонденту. Правда, существует одна возможность обнаружить неполноту объявленных целей: если цели описаны не на всех языках конфигуратора, это явный признак того, что не все цели объявлены.

**Опасность неспособности выразить цель.** Несмотря на все усилия «вытянуть» из стейкхолдера его истинную цель, иногда у нас остаются сомнения в том, что мы добились желаемого результата. Еще чаще встречаются случаи, когда субъект затрудняется выразить явно свои желания, а то и вообще сам не знает, чего он хочет. Но необходимость выявить его истинную цель остается.

Существует две возможности обойти эту трудность.

Первая состоит в том, чтобы создать обстановку, в которой субъекту придется не говорить, а *действовать целенаправленно*; так что его цель проявится экспериментально.

Явным целенаправленным действием человека является *акт выбора*. Если перед ним несколько возможностей, из которых нужно выбрать только одну, он выбирает ту, которая больше всего соответствует его цели, даже если она не совсем осознается.

Поэтому можно попытаться создать *ситуацию выбора*. Над входом в один американский супермаркет помещен броский призыв: «Если вы не знаете, что вам нужно, заходите к нам, это у нас есть!» Побродив по этажам этого огромного магазина, где продается все, от фруктов и игрушек до электроники и оружия, вы обязательно увидите то, что вам захочется купить. Вот и нашему стейкхолдеру нужно представить меню из предполагаемых, возможных, подходящих целей, соответствующих рассматриваемой ситуации.

Но в прикладном системном анализе разработан еще один специальный вариант ситуации выбора, когда субъект выражает

свои пожелания не в виде формулировки цели, а в форме описания конечного результата. Речь идет о методе, который Р. Акофф назвал *идеализированным перепроектированием*.

Стейкхолдеру предлагается следующая задача. Существующая система вам не нравится. Представьте себе, что вы можете все — никаких ограничений! Сметите существующую систему и на пустом месте спроектируйте то, что вас удовлетворит. Не думайте о том, можно ли это осуществить, хватит ли ресурсов и т.п., — никаких ограничений!

Стейкхолдеры с любопытством приступают к работе. Во-первых, они впервые отрываются от своей узкой точки зрения и пытаются посмотреть на ситуацию в целом; это интересно. Во-вторых, в работе наличествует элемент игры «в Господа Бога» — «Я могу все!» Играть всегда интересно. Но самое интересное дальше. Когда созданный идеализированный проект проверяется на реализуемость при наличных ограниченных возможностях, оказывается, что на 100% это не удастся, но возможна довольно близкая аппроксимация его.

Примером может служить аппроксимация идеальной и недостижимой в массовом порядке цели индивидуального обучения каждого студента — создание подгрупп с более однородными составами и разными программами для них.

Вторая возможность определения истинной цели субъекта состоит в том, чтобы сформулировать ее вместо него, как бы «вычислить» цель. Эта возможность основана на уже отмеченной древовидной структуре субъективных целей. Субъект не может назвать нужную нам цель, но она ведь находится на одной из ветвей дерева. Если определить, на какой именно, то ее можно будет отыскать, спускаясь по этой ветви. Эта задача облегчается тем, что корневые цели, цели высокого уровня, называемые жизненными ценностями, вполне осознаются субъектом, он их не скрывает, а наоборот, гордится ими. Так что выяснить жизненные ценности стейкхолдера нетрудно.

Публицисты и ученые часто обращают внимание на определенную противоположность таких жизненных ценностей, как «техно-кратическое мышление» и «гуманистическое мышление» как разных подходов к формированию целей. Главное их различие образно можно выразить лозунгами: «Человек — царь природы» и «Человек — часть природы». Несколько подробнее их противопоставление можно представить таблицей (табл. 5.1).

## Технократическая и гуманистическая системы ценностей

Технократическая	Гуманистическая
Природа — неограниченный источник ресурсов.	Природные ресурсы ограничены.
Превосходство над природой.	Гармония с природой.
Природа враждебна или нейтральна.	Природа дружелюбна.
Природу следует покорять.	Природа в хрупком равновесии.
Информационно-технологическое развитие общества.	Социально-культурное развитие общества.
Рыночные отношения.	Общественные интересы.
Риск и выигрыш.	Гарантии безопасности.
Индивидуальное самообеспечение.	Коллективистская организация.
Разумность средств.	Разумность целей.
Информация, запоминание.	Знания, понимание.
Образование.	Культура.
Человек — средство, винтик общества	Человек — цель, основа общества

Эти перечни не претендуют на полноту, они лишь иллюстрируют разницу между двумя стилями мышления. Хотя такое сравнение проводится, чтобы подчеркнуть (вполне справедливо) опасности чисто технократического подхода к выбору целей, полный отказ от всех технократических ценностей был бы чрезмерен. Например, научно-технический прогресс является не альтернативой социальному развитию, а его средством; образование можно рассматривать как антипод культуре только в отрыве от нее.

Насколько разные цели диктуют эти разные системы ценностей, можно проиллюстрировать историей, произошедшей в одном американском городе. Муниципалитет должен был дать указания дорожной полиции, какие меры принять для снижения числа дорожно-транспортных происшествий. Известны два способа: скрытое и открытое патрулирование. При первом полицейский засекает нарушителей из засады и штрафует их; при втором он открыто демонстрирует свое присутствие на дороге, и увидев его, водители ведут себя по правилам. Голоса в муниципальном совете разделились. Одни обосновывали свое решение стремлением к пополнению городского бюджета штрафами и наведению порядка. Другие указывали на неэтичность, провокационность засад, на то, что явное присутствие полицейского побуждает водителей к осторожности.

Трудность метода «вычисления» цели через жизненную ценность состоит в том, что у человека она не одна (например, одни



на первое место ставят общечеловеческие интересы, другие — интересы нации, третьи — своей фирмы, четвертые — семьи, пятые — свои личные; есть ценности духовные, материальные, политические, эстетические и т.д.). В разных ситуациях человек может опираться на разные ценности. Какую же из них пытаться выяснять в нашем случае?

Если это нельзя определить из характера самой проблемы, то ответ лежит в конфигураторе. Ведь жизненные ценности выражаются какими-то языками. Следовательно, надо заняться только теми ценностями, которые описываются на языках конфигуратора данного стейкхолдера.

**Особенности выявления целей организации.** Выше обсуждались причины расхождения между объявленными и истинными целями, когда субъект («физическое лицо») ненамеренно — по ошибке или незнанию — объявляет неистинную цель или не все истинные цели. Случай выявления целей организации приходится выделить отдельно.

Дело в том, что выразителем целей организации является ее руководство. И оглашать цели организации ему приходится при наличии конфликтов между интересами своей системы и окружающей среды, а также интересами своей системы и своими личными интересами. В результате провозглашаемые корпорацией цели не всегда совпадают с истинными: между тем, что проповедуется, и тем, что делается на практике, часто существует большое различие (которое системный аналитик должен выявить).

По первому направлению (поведение руководства при конфликте интересов организации и общества) Р. Акофф приводит такие примеры. «Многие организации прокламируют заботу о качестве окружающей среды, но охраняют и поддерживают ее не более, чем принуждают их к этому законы и общественное мнение». (Достаточно упомянуть поведение нефтедобывающих компаний на девственных территориях российского Севера.) «Некоторые компании, пропагандирующие неограниченную конкуренцию и свободную рыночную систему, обращаются к правительству, как только почувствуют, что она ущемляет их интересы. Другие заявляют о равных возможностях в найме и тщательно избегают принимать на работу представителей национальных меньшинств и женщин».

Второе направление связано с тем, что руководство организации неизбежно имеет и свои собственные цели, которые

иногда реализуются за счет ресурсов организации. В таких случаях руководители просто умалчивают о своих целях, хотя на деле стараются реализовать их в полной мере. Как пишет Р. Акофф, «многие руководители компаний утверждают, что их главная цель — максимизация прибыли. Однако беспристрастная проверка их поведения обнаруживает, что эта цель не является у них доминирующей. В противном случае директора работали бы в менее роскошных кабинетах, летали бы на рейсовых самолетах, останавливались бы в средних отелях и т.д. Ясно, что большинство менеджеров склонны пожертвовать по крайней мере частью прибыли во имя обеспечения себе приемлемого качества деловой жизни. Суть опять-таки не в том, что такая цель неправильна или аморальна; напротив, ее следует распространить на всех работающих. Стремление менеджмента обеспечить себе высокое качество жизни не является тайной для многих людей, ничего не выигрывающих от этого стремления, и они негодуют по этому поводу. Их упрощенная мораль тормозит развитие корпораций. Иногда менеджеры испытывают в подобных случаях чувство вины. Чем сильнее такое чувство, тем глубже они уходят в оборону; следовательно, тем более сопротивляются изменению. Это также мешает развитию».

По совету Р. Акоффа, полезно разделять цели на разных уровнях дерева на задачи, цели и идеалы. При технологии «сверху — вниз» прежде всего стараются сформулировать цель самого высокого уровня — *миссию* организации. Миссия является общей для всех членов организации целью, определяющей и объединяющей все роли системы в окружающей среде, гармонизирующей действия внутри всей системы. Трудность определения миссии состоит в том, что руководство организации склонно считать миссией цели самой системы («стать более прибыльной, стать больше (вырасти), стать лучшей в отрасли» и т.п.). Правильно определенная миссия должна отражать интересы всех стейкхолдеров.

Градацию целей можно определить по-разному. В качестве исходной классификации Р. Акофф предлагает различать:

- 1) *задачи*-результаты, которые предполагается получить в пределах планового периода;
- 2) *цели*-результаты, которых не предполагается достичь и за пределами планового периода, но к которым мы рассчитываем приблизиться в рамках этого периода;

3) *идеалы-результаты*, которые считаются недостижимыми, но приближение к которым возможно.

Таким образом, задачи можно рассматривать как средства достижения целей, а цели — как средство приближения к идеалам.

В случае решения проблемы организации необходимо определить не то, чего организация не хочет (это выражено в проблемном месиве), а то, чего организация хочет: ее идеалы, цели, задачи, — ее «целевое месиво».

Очень эффективным методом для этого является *идеализированное перепроектирование* организации, — метод, разработанный школой Р. Акоффа. Он состоит в том, чтобы не заниматься устранением недостатков существующей системы, а сразу начать проектировать желаемую систему.

Для этого предлагается исходить из предположения, что существующая система «вчера ночью исчезла», осталась только окружающая ее среда. Далее предполагается строить проект такой системы, которую стейкхолдерам хотелось бы иметь прямо сейчас, сегодня, если бы они могли создать ее какой угодно.

На проект накладывается всего три ограничения:

1) проект должен быть *технологически осуществимым*: ни какой научной фантастики (например, не следует предполагать, что связь в системе будет телепатической, но можно планировать использование спутниковых или оптоволоконных каналов);

2) проект не обязан быть практически осуществимым, но должен быть *совместимым с окружающей средой* (ингерентным ей), т.е. не противоречить существующим законам и правилам;

3) проектируемая организация должна быть *способной к непрерывному улучшению*, т.е. обучению и адаптации к изменениям внутренних и внешних обстоятельств.

**Техника работы с целями.** Обсудим несколько технических моментов выполнения этапа целевыявления.

При формулировании целей рекомендуется стремиться к ясным, понятным их определениям. Конечно, не всегда возможно достичь измеримой конкретности (например, в случае цели «Повысить моральный дух спортивной команды»), но надо всячески стремиться к этому («К концу года достичь такого-то объема производства такого-то продукта»). Специалисты рекомендуют стараться, чтобы цели были:

а) реалистичны, т.е. достижимы при наличных финансовых, материальных и временных ресурсах;

б) конкретны, т.е. чтобы любое продвижение к цели вносило вклад в решение именно данной проблемы, а не какой-то другой;

в) измеримы, т.е. позволяли бы отслеживать процесс движения к цели путем измерений, расходы на которые находятся в допустимых пределах.

Иногда цели можно сформулировать как позитивное зеркальное отображение негативной формулировки проблемы. Но чаще одна проблема порождает несколько целей, особенно если стремиться к их конкретности.

Следующий вопрос — о структурировании целевого месива. Иногда (особенно при неестественности в средствах) можно работать с целевым месивом, не упорядочивая его. Но часто необходимо установить приоритетность, очередность работы с разными целями. Удобным средством для этого является установление причинно-следственных связей между целями, которое выражается в их выстраивании в виде древовидной структуры, «дерева целей». Если такие отношения действительно существуют, то цель верхнего уровня не может быть достигнута, пока не реализованы нижние цели, и вопрос организации работ решается автоматически.

Есть два наиболее употребительных способа построения дерева целей. Если исходным материалом является целевое месиво, то выстроить его в дерево можно по методике, описанной в разделе о проблемном месиве (там строилось дерево проблем).

В тех же случаях, когда конечная цель носит проектный характер, т.е. сначала можно сформулировать «глобальную цель» (это тоже требует серьезных усилий), то цели нижних уровней можно получить алгоритмически, используя *алгоритм декомпозиции*, описанный в книге Ф.И. Перегудова и Ф.П. Тарасенко<sup>1</sup>. Нередко деревья целей строятся на основе интуиции и здравого смысла, но это чревато снижением качества результата.

Указанные два способа построения дерева целей иногда называются в литературе технологиями «снизу — вверх» и «сверху — вниз» соответственно.

Отметим также возможность ситуации, когда связи между выявленными целями выстраиваются не в древовидную, а в сетевую структуру. Это не должно смущать нас, так как это не станет препятствием для последующего выявления расхождений между проблемным и целевым месивами.

---

<sup>1</sup> См.: Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Основы системного анализа. 3-е изд., испр. и доп. Томск: НТЛ, 2001.

**Контрольные вопросы и задания**

1. Почему для проектирования улучшающего вмешательства необходимо выявить цели стейкхолдеров?
2. Перечислите основные причины расхождения между целями объявленными и истинными.
3. Что такое «дерево целей» и как его можно построить?

**5.7. Этап седьмой. Определение критериев**

В ходе решения проблемы будет необходимо сравнивать предлагаемые варианты, оценивать степень достижения цели или отклонения от нее, осуществлять контроль за ходом событий. Это достигается путем выделения некоторых признаков рассматриваемых объектов и процессов. Данные признаки должны быть связаны с интересующими нас особенностями рассматриваемых объектов или процессов, должны быть доступными для наблюдения и измерения. Тогда по полученным результатам измерений мы сможем осуществить необходимый контроль.

Такие характеристики называют *критериями*. В каждом исследовании (в том числе и нашем) потребуются критерии. Сколько, какие и как выбирать критерии? Данный этап и посвящен ответам на эти вопросы.

Сначала о количестве критериев. Очевидно, что чем меньше критериев понадобится, тем проще будет проводить сравнение. То есть желательно минимизировать число критериев, хорошо бы свести его к одному. Иногда это удается. Например, ЮНЕСКО, распределяя средства для помощи слаборазвитым странам в гуманитарных сферах, решило предоставлять субсидии самым отстающим. Но «отстающий» — оценочное слово, и требуются критерии, по которым можно определить, кто же самый отстающий. Замечательно, что по ряду направлений ЮНЕСКО удалось эффективно решить эту задачу с одним-единственным критерием. Состояние здравоохранения в целом оценивается по показателю детской смертности, состояние образования — по проценту неграмотных в стране. В одном университете в США доплату преподавателю за качество преподавания поставили в зависимость от одного критерия — числа студенто-часов на его занятиях. В Швеции эффективность работы дорожной полиции оценивается по количеству смертей в дорожно-транспортных происшествиях. Во всех этих случаях одиночные критерии доказали свою работоспособность.

К сожалению, чаще одним-единственным критерием не удастся удовлетворительно оценить качество рассматриваемого объекта. Например, критерий быстроты прибытия пожарных не характеризует борьбу с пожарами, так как он не связан с уменьшением числа возгораний. Объем расходов на одного ученика не оценивает качества обучения в школе. Число студентов на одного преподавателя не полно характеризует качество подготовки специалистов в вузе.

Тогда приходится вводить еще какое-то количество критериев, по-разному описывающих объект и дополняющих друг друга.

Приведем пример того, *как* выбирать критерии.

Фирме системных аналитиков был заказан анализ проблемы с целью улучшить уборку мусора в большом городе. На этапе формирования критериев сначала были предложены следующие критерии: расходы по уборке мусора на одну квартиру, число тонн убираемого мусора в расчете на один человеко-час, общий объем вывозимого мусора. Эти критерии были отвергнуты как не связанные с качеством работы. Более удачными были признаны такие критерии, как процент жилых кварталов без заболеваний, число пожаров из-за возгорания мусора, количество жалоб жителей на скопление мусора, число укусов людей крысами. Этот пример иллюстрирует требование к критериям — быть в как можно большем соответствии с целью.

И все же какие критерии и сколько их выбирать? Ответ станет очевидным, если понять, что *критерии являются количественными моделями качественных целей*. В самом деле, сформированные критерии в дальнейшем в некотором смысле представляют, заменяют цели: оптимизация по критериям должна обеспечивать максимальное приближение к цели. Конечно, критерии не тождественны цели, это подобие цели, ее модель. Определение значения критерия для данной альтернативы является, по существу, измерением степени ее пригодности как средства достижения цели.

Теперь ясно, что нужно выбирать такие критерии и столько их, чтобы в своей совокупности они являлись адекватной моделью цели. (Правда, как выполнять эту рекомендацию, придется решать в каждом случае отдельно. Не всегда это удастся в полной мере. Но не следует отчаиваться: как говорит древняя поговорка, «Можно много пройти в башмаках, которые немного жмут».) В итоге мы приходим к многокритериальным задачам —

не только потому, что бывают многоцелевые задачи, но и потому, что одну цель часто приходится отображать несколькими критериями.

При выборе критериев иногда можно воспользоваться опытом ранее проведенных работ. Например, при анализе и проектировании технических систем обычно используются такие критерии, как финансовые (стоимость, прибыль и т.д.), инвентарные (количество продукта, ассортимент и т.д.), эксплуатационные (эффективность функционирования, надежность и пр.), живучесть (совместимость с существующими системами, адаптивность к среде, скорость морального устаревания, безопасность и пр.), экологичность, эргономичность и ряд других. Еще один совет состоит в том, чтобы для каждого признака, описываемого критериями, ввести по крайней мере три критерия: один должен характеризовать качественную сторону, другой — количественную, третий — временную. Такие эмпирические перечни, безусловно, полезны, но подлежат развитию.

**Критерии и ограничения.** Обратим теперь внимание на то, что сформированное нами множество критериев при постановке задачи на оптимальность разбивается на два подмножества. Одни критерии подлежат изменениям, по мере которых ситуация приближается к желаемому состоянию как можно ближе. Другие же подвержены некоторым условиям, как правило закрепляющим, фиксирующим их значения; эти условия должны соблюдаться в ходе решения всей задачи. Эти критерии называются ограничениями. Напомним (см. главу 1, понятие оптимальности), что ограничения играют в выборе не меньшую роль, чем максимизируемые критерии. Отличие между ними состоит в том, что критерии максимизируемые как бы открывают возможности для выдвижения все новых и новых альтернатив в поисках лучшей из них, а ограничение заведомо уменьшает их число, запрещая некоторые из альтернатив. Одними целевыми критериями можно жертвовать ради других, а ограничение исключить нельзя, оно должно жестко соблюдаться.

В практике системного анализа встречаются случаи, когда наложенные ограничения столь сильны, что делают нереальным достижение цели. Тогда системный аналитик должен ставить перед лицом, принимающим решение, вопрос о том, нельзя ли данные ограничения ослабить или снять совсем. Напомним историю с автобусной компанией из главы 1. Другой пример — выдвижение очень жестких требований к вероятности ложной тревоги, предъ-

явленное разработчикам радиолокационной станции. Выполнение этого ограничения потребовало бы неприемлемо длительных периодов накопления сигнала в радиолокаторе. Как выяснилось, столь жесткое требование вытекало из нежелания «слишком часто» беспокоить вышестоящее начальство ложными тревогами.

На этом завершим обсуждение данного этапа.

#### Контрольные вопросы и задания

1. В каком отношении находятся цели и критерии?
2. Чем определяется набор (число и характер) необходимых критериев?
3. Обсудите сходства и различия между критериями и ограничениями.

#### 5.8. Этап восьмой.

##### Экспериментальное исследование систем

**Эксперимент и модель.** Часто недостающую информацию о системе можно получить только из самой системы, проведя специально спланированный для этого эксперимент. Содержащуюся в протоколе эксперимента информацию извлекают, подвергая полученные данные обработке, преобразованию в форму, пригодную для включения ее в модель системы. Завершающим действием является коррекция модели, включающая полученную информацию в модель.

Легко воспринимается, что эксперимент нужен для совершенствования модели. Важно понять также, что эксперимент невозможен без модели. Они находятся в одном цикле (рис. 5.11). Однако вращение по этому циклу напоминает не вращающееся колесо, а катящийся снежный ком — с каждым оборотом он становится все больше, весомее.

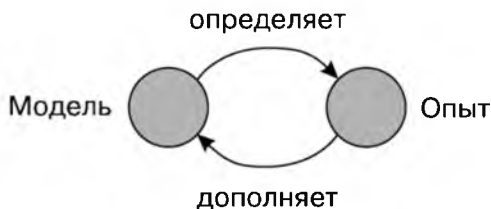


Рис. 5.11

**Эксперимент и измерения.** Разнообразие экспериментов можно упрощенно описать их классификацией. Если мы не вмешиваемся в ход событий, а только регистрируем, что происходит



на входах и выходах интересующей нас системы, то опыт называется *пассивным экспериментом* (или *наблюдением*). Если же мы не только созерцаем (и фиксируем) происходящее на входах и выходах, но и воздействуем на некоторые из них (одни намеренно поддерживая неизменными, другие — меняя должным образом), то опыт называется *активным* (или *управляемым*) *экспериментом*. Как и любая классификация, эта лишь приблизительно описывает реальность. В абсолютно чистом виде эти два эксперимента невозможны: активный — потому, что все входы и выходы контролировать невозможно (некоторые даже неизвестны), пассивный — потому, что всякое измерение и наблюдение — *взаимодействие*, и вовсе не вмешаться в получаемый результат нельзя. Ближайшими реальными, близкими к идеальным, экспериментами являются активный лабораторный опыт и пассивные наблюдения в астрономии, истории, археологии, психологии и т.п.

Еще одна важная классификация — деление экспериментов на *прямые* и *косвенные*. Прямой эксперимент — это наблюдение непосредственно той характеристики, которая нас интересует (например, привес молодняка можно измерять ежедневным взвешиванием). Иногда интересующая нас характеристика не поддается прямому измерению, но есть наблюдаемая величина, связанная с нею, из наблюдений которой можно извлечь нужную нам информацию; это и будет косвенное наблюдение (например, по некоторым действиям матери можно судить о силе материнской любви, по ценам — о стоимости, по артериальному давлению — о состоянии сердечно-сосудистой системы). Деление измерений на прямые и косвенные важно потому, что их надо обрабатывать по-разному, даже если они описаны в одинаковой шкале.

Осуществившиеся результаты эксперимента фиксируются в виде протокола наблюдений. Эта запись — не сам эксперимент, а описание его результата, т.е. его модель. Понимая термин «язык» широко, можно сказать, что протокол наблюдений — это запись результатов эксперимента на некотором языке. Разнообразие экспериментов таково, что одним языком не обойтись; существует несколько таких языков, называемых *измерительными шкалами*. Следует ознакомиться с ними, так как в практике придется иметь дело с обработкой данных в разных шкалах, а делать это нужно по-разному для каждой шкалы. Как в любом языке, неправильно построенная фраза теряет смысл, так и неправильно преобразованные данные эксперимента не несут ожидаемой информации.

**Измерительные шкалы.** На примере измерительных шкал можно проследить явление, характерное для всех языков (вспомните обсуждение языковых моделей в главе 3): начиная с универсального, но малоинформативного языка, можно, включая, присоединяя к нему дополнительную информацию, получать все более и более информативные языки, вплоть до наиболее математизированного.

1. Шкала наименований (номинальная, классификационная). В разделе об абстрактных моделях главы 3 отмечалось, что простейшей моделью разнообразия является классификация. Она и положена в основу *шкалы наименований*. Измерение в этой шкале состоит в том, чтобы, произведя наблюдение классификационных признаков объекта, определить, к какому классу он относится, и записать это с помощью символа, обозначающего данный класс.

Фамилии, диагноз заболевания, номера домов, автомобилей, игроков спортивных команд, названия цветов, адреса и т.д. — примеры наблюдений в номинальной шкале.

Пусть введено  $k$  классов:  $A_1, A_2, \dots, A_k$  ( $A_s$  — имя  $s$ -го класса). Пусть поочередно наблюдаются объекты  $x_1, x_2, \dots, x_N$  (их совокупность называется *выборкой*,  $N$  — объем выборки). Относительно каждого  $x_i$  ( $i = \overline{1, N}$ ) делается заключение, к какому из классов  $A_1, \dots, A_k$  он относится ( $x_i \in A_j$ ). Итог и будет протоколом наблюдений.

Поскольку единственным отношением, определяющим шкалу, является отношение эквивалентности (объект либо принадлежит к данному классу, либо нет), то единственной допустимой операцией над данными в этой шкале является проверка на совпадение. Эта операция изображается с помощью символа Кронекера  $\delta_{ij} = \{1: x_i = x_j; 0: x_i \neq x_j\}$ , т.е. совпадение двух разных наблюдений (принадлежность к одному классу) обозначается единицей, несовпадение — нулем. С результатами этой *первичной обработки* можно выполнить *вторичную обработку*. Например, число наблюдений одного класса с  $x_i$  равно  $n_j = \sum_{i=1}^N \delta_{ij}$ , относительная частота

этого класса будет равна  $n_j/N$ , номер наиболее населенного класса  $i_{\max} = \arg(\max_{(i)} n_i)$ ; можно применять разные статистические процедуры, использующие относительные частоты (например,  $\chi^2$ -тест).

Сравнивать между собой данные в номинальной шкале, полученные разными исследователями, можно, только если они

пользовались одинаковым разбиением на классы (число классов и границы между ними должны совпадать). Отличаться могут лишь наименования классов и порядок их перечисления, как не нарушающие природной структуры данных.

Еще раз напомним, что никаких операций над  $\{x_i\}$ , кроме операции сравнения  $\delta_{ij}$ , делать нельзя — результат не будет иметь силы. Например, если вы знаете, что на улице сто домов, то неправильно говорить, что географическая середина улицы около 50-го.

2. Шкала порядковая (ординальная, ранговая). Если ввести между классами номинальной шкалы дополнительное отношение порядка (предпочтения; обозначим его символом  $\succ$ ), получится новая, усиленная в информационном смысле шкала, называемая *порядковой* или *ординальной*.

Примерами наблюдений, регистрируемых в порядковой шкале, являются: армейские и чиновничьи звания, школьные оценки, магнитуда землетрясений (шкала Рихтера), твердость минералов (шкала Мооса), сила ветра (шкала Бофорта), призовые места в соревнованиях.

Допустимое преобразование  $\delta_{ij}$  (сразу заметим, что допустимые преобразования для более слабых шкал допустимы и в более сильных, но не наоборот) теперь дополняется операцией проверки предпочтения  $C_{ij}: C_{ij} = \{1: x_i \succ x_j; 0: x_i \prec x_j\}$ . Итак, *первичная обработка* данных в порядковой шкале состоит из двух допустимых преобразований:  $\delta_{ij}$  и  $C_{ij}$ . Применение других операций приведет к недоразумениям. Примером служит безуспешная попытка учитывать «средний школьный балл» при поступлении в вузы. В этом неудачном эксперименте баллы рассматривались как числа и складывались. Операция сложения в порядковой шкале недопустима и дает бессмысленный результат. Эксперимент пришлось отменить.

С результатами первичной обработки (двоичными числами) можно производить подходящую *вторичную*. Например, можно установить номер наблюдения  $x_i$  в упорядоченном ряду всех на-

блюдений:  $R_i = \sum_{j=1}^N C_{ij}$ . Этот номер называется *рангом*  $i$ -го объекта

(отсюда происходит еще одно название для данного типа шкалы — *ранговая*). Возможны и другие использования чисел  $\delta_{ij}$  и  $C_{ij}$ : кроме нахождения частот и мод (как и для номинальной шкалы), появляется возможность определить выборочную медиану (т.е. наблюдение с рангом, ближайшим к числу  $\frac{N}{2}$ ), можно разбить всю выборку на части в любой пропорции, находя выборочные квантили

любого уровня  $p$ ,  $0 < p < 1$  (т.е. наблюдения с рангом  $R_p$ , ближайшим к величине  $Np$ ), можно определить коэффициенты ранговой корреляции между двумя сериями порядковых наблюдений ( $r_s$  Спирмена,  $\tau$  Кендалла), строить другие статистические процедуры.

Несколько дополнительных замечаний о порядковых шкалах.

Разновидностями предпочтений являются упорядочивание при наличии стандартных опорных образцов (например, шкала Мооса основана на десяти конкретных минералах разной твердости), при нечетко заданных образцах (шкала силы ветра, школьные оценки), при отсутствии образцов (спортивные соревнования, музыкальные конкурсы).

Кроме шкал *совершенного порядка*, однозначно определяющих предпочтения (нумерация очередности, воинские звания и т.п.), существуют шкалы *квазипорядка*, когда некоторые элементы упорядоченного ряда неразличимы (мать = отец > сын = дочь; дядя = тетя < брат = сестра), а также шкалы *частичного порядка*, когда имеются несравнимые между собой пары классов (например, в социологических исследованиях субъект иногда не в состоянии оценить, что ему больше нравится — клетчатые носки или фруктовые консервы, велосипед или магнитофон, читать или плавать и т.п.).

В порядковых шкалах не существует понятия расстояния между классами, поэтому любые преобразования, сохраняющие порядок («монотонные») не влияют на информативность данных. (Можно рядовым повесить на погоны звездочку и всем вышестоящим чинам добавить по звездочке — будет красивее, но суть не меняется.)

3. Шкала интервалов (разностей). Если упорядочение объектов можно выполнить настолько точно, что известны расстояния между любыми двумя из них, то измерение станет заметно более информативным, чем в шкале порядка. Естественно выражать все расстояния в единицах, хотя и произвольных, но одинаковых по всей длине шкалы. Это означает, что объективно равные интервалы измеряются одинаковыми отрезками шкалы, где бы они на ней ни располагались (рис. 5.12).

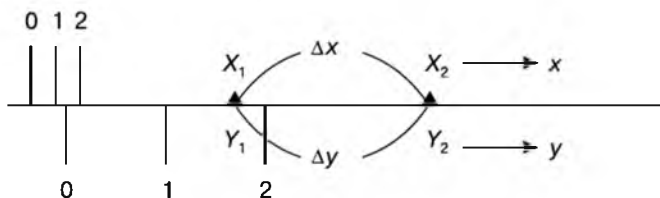


Рис. 5.12

В итоге оказывается, что у нашей новой шкалы — *шкалы интервалов* — начало отсчета и единица длины интервала *произвольны* ( $\frac{\Delta y}{\Delta x} = \text{const}$ )

Примеры наблюдений, фиксируемых в шкале интервалов:

- температура (шкалы Цельсия, Фаренгейта, Кельвина);
- летоисчисление (от Рождества Христова, от переезда Мухаммеда в Медину — на 622 года позднее, от императорской династии в Китае — на 5000 лет раньше);
- высота местности (от уровня моря; Голландия почти вся имеет отрицательную высоту).

Единственной новой допустимой операцией первичной обработки над данными в новой шкале является вычитание, т.е. определение интервала между двумя отсчетами. Например, если сказать, что температура увеличилась в два раза при нагреве от  $9^\circ$  до  $18^\circ$  по Цельсию, то для привыкших пользоваться шкалой Фаренгейта это будет звучать весьма странно, так как в этой шкале температура изменится от  $48,2^\circ$  до  $64,4^\circ$ . Операция деления для данной шкалы недопустима. Только интервалы имеют смысл настоящих чисел. Над ними (вторичная обработка) уже можно выполнять любые арифметические действия, а также статистические и другие процедуры.

4. Шкала циклическая (периодическая, разностей). Есть специальный вид интервальной шкалы, который характерен тем, что она замкнута на себя, т.е. после прохождения определенного периода ее значения повторяются. Примерами являются: угловые направления из одной точки (шкала компаса, роза ветров), время суток (циферблат часов), фаза периодических колебаний (в градусах или радианах), географическая долгота (в градусах). Все сказанное об интервальной шкале относится и к циклической. Чтобы не возникло недоразумений, отметим, что сложение часов — не сложение самих временных отметок (что является недопустимой операцией), а сложение временных *интервалов*, т.е. вторичная обработка. Надо еще помнить об условности начала отсчета (например, при переходе на зимнее время, при пересечении линии смены дат и т.п.). Данную шкалу еще называют *шкалой разностей*, так как она инвариантна к сдвигу на интервал, называемый *периодом шкалы*.

5. Шкала отношений. Введение еще одного определяющего отношения придает дополнительное усиление измерениям. Потребуем, чтобы не только отношения величин одного интервала в разных шкалах были константой, где бы этот интервал ни находился ( $\frac{\Delta y}{\Delta x} = \text{const}$ ),

что характерно для шкалы интервалов, но чтобы и отношения значений одной и той же величины, измеряемой в разных шкалах, тоже были константой, какое бы место эта величина ни занимала в реальности ( $\frac{y}{x} = \text{const} = \frac{y_1}{x_1} = \frac{y_2}{x_2}$ ), см. рис. 5.13). Получаемая шкала именуется *шкалой отношений*. При этом, хотя единица измерений остается произвольной, нулевая отметка становится абсолютной, несдвигаемой.

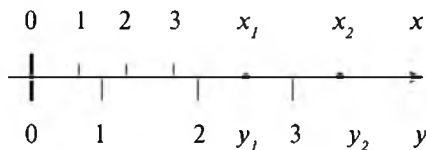


Рис. 5.13

Примерами величин, природа которых соответствует шкале отношений, являются:

- длина (измеряемая в см, футах, аршинах, км и т.д.);
- вес (кг, фунты, пуды, тонны и т.д.);
- объем (м<sup>3</sup>, баррели, литры и т.д.);
- деньги (рубли, доллары, евро, йены и т.д.).

Данные в шкале отношений в еще большей степени становятся числами: в первичной обработке с ними имеют смысл любые арифметические операции, то же можно делать и во вторичной.

6. Абсолютная шкала. Предыдущие «числовые» шкалы (интервальная и отношений) имели степени свободы: интервальная — две (произвольный нуль и единицу), отношений — одну (фиксированный, несдвигаемый нуль и произвольную единицу). Характерно, что «числовые» возможности данных в этих шкалах были ограничены: в интервальной шкале — операцией разности, в шкале отношений — арифметическими операциями.

Рассмотрим такую шкалу, которая имеет и абсолютный нуль, и абсолютную единицу. Эта шкала не имеет степеней свободы, она единственна, уникальна. Именно такими качествами обладает числовая ось, которую естественно назвать *абсолютной шкалой*. Важная отличительная особенность абсолютной шкалы состоит в том, что значения данных в ней не имеют размерности, наименований, ее единица абсолютна («штука»). Это придает данным в этой шкале особый статус (в английском языке их называют *pure numbers* — чистые числа) — с ними можно производить такие операции, которые недопустимы с поименованными числами. (Можно записать 2 см<sup>2</sup>,

но бессмысленно  $3^{2\text{см}}$ .) Их можно употреблять в качестве показателя степени, основания логарифма, над ними допустимы любые тригонометрические и другие трансцендентные преобразования.

Числовая ось используется как измерительная шкала при счете предметов, а как вспомогательное средство присутствует во всех остальных шкалах. Внутренние свойства числовой оси, при всей кажущейся ее простоте, разнообразны и сложны — теория чисел не исчерпала их до конца. А некоторые безразмерные числовые отношения, обнаруживаемые и на самой оси, и в природе, вызывают изумление и восхищение: простые числа, числа Фибоначчи, гармонические отношения звуков, размеров; законы теории размерности и подобия; квантовые закономерности и т.д.

**Итоговая таблица базовых измерительных шкал.** Обсужденные выше шесть измерительных шкал не исчерпывают многообразия языков, на которых можно говорить о разнообразии реальности. Но они являются базовыми: остальные шкалы — производные от них, учитывающие некие сторонние, побочные, специфические условия. Для завершенности изложения важных особенностей базовых шкал приведем их сводную таблицу (табл. 5.2).

**О других шкалах.** Измерительная практика в разнообразных видах деятельности привела к целесообразности введения шкал, отличающихся от базовых. Учитывая предназначенность данного текста профессионалам любой специальности, ограничимся кратким перечислением наиболее употребительных модификаций измерительных шкал, чтобы при желании можно было найти более подробную информацию.

Очень распространены измерения непрерывных величин. Их значения поневоле фиксируются с конечной точностью, округленно. Особый случай представляют шкалы, когда конечное число разрядов определяется не разрядностью регистрирующего устройства, а классом точности измерительного устройства, когда увеличивать число разрядов бессмысленно. Оба типа шкал, в отличие от целочисленных дискретных шкал, называются *дискретизованными*. Обработка данных в дискретизованных шкалах имеет ряд особенностей.

Еще один практически важный класс шкал — *нелинейные*. Интервалы этих шкал не отвечают условиям аддитивности, т.е. «цена» единичного деления такой шкалы зависит от того, в какой части этой шкалы находится это деление. Примерами могут служить квадратичная, логарифмическая, экспоненциальная шкалы, «вероятностная бумага», многие номограммы.

Таблица 5.2

Итоговая таблица базовых измерительных шкал

Тип шкалы	Определяющие отношения	Эквивалентное преобразование шкалы	Допустимые операции над данными (первичная обработка)	Вторичная обработка данных	Пример
Номинальная (наименований, классификаций)	Эквивалентность =	Перестановка классов, их переименования	Вычисление символа Кронекера $\delta_{ij} = (1: x_i = x_j; 0: x_i \neq x_j)$	Вычисление относительных частот и операции над ними	Имена, названия, номера домов и автомашин, знаки, символы
Порядковая (ординальная, ранговая)	То же и предпочтении $=, >$	Не меняющее порядка («монотонное»)	$\delta_{ij}$ и вычисление функции сравнения $C_{ij} = (1: x_i \geq x_j; 0: x_i < x_j)$	То же и вычисление рангов $R_j = \sum_{i=1}^n C_{ij}$ квантилей, операции над ними	Возможные упорядочения балльные очки
Интервальная	То же и постоянство отношения интервалов $=, > \Delta y / \Delta x = \text{const}$	$Y = ax + b$ $a > 0, b \in R$	То же и вычисление интервалов $\Delta y_i = x_i - x_j$	Арифметические действия над интервалами	Температура, лето исчисление, высота местности, географическая широта
Циклическая (периодическая)	То же и периодичность $=, > y = x + b + n\tau$ , $\tau = \text{const}, n = 1, 2, \dots$	$y = x + b + n\tau$	То же	То же	Направления на страны света, время суток, фазы колебаний, долгота, времена года
Отношений	То же и постоянство отношения замеров $=, > y/x = \text{const}$	$Y = ax + 0$	Все арифметические операции	Все арифметические операции	Длина, вес, объем, масса, площадь, деньги
Абсолютная	То же и абсолютность нуля и единицы	Шкала уникальна (числовая ось)	Любые арифметические и трансцендентные операции	Любые операции над числами	Счет единиц чего-либо, определение долей, основа других шкал



Предпринимаются попытки заполнить пробел между «слабыми» (номинальной и порядковой) и «сильными» (числовыми) шкалами: шкала гиперупорядочения, шкала Черчмена — Акоффа.

В принципе каждый исследователь может построить собственную измерительную шкалу для лучшего представления результатов. Очень важно подчеркнуть, что каждая шкала должна сопровождаться перечнем допустимых операций первичной обработки, который специфичен для данной шкалы.

До сих пор речь шла о шкалах, основанных на четкой классификации: элемент либо принадлежал к классу, либо нет. Реальная жизнь привела к необходимости рассмотрения случаев, когда требование жесткой эквивалентности не выполняется, т.е. когда элемент может одновременно принадлежать к двум и более классам. Для описания таких ситуаций разработаны два подхода.

Первый основан на теории расплывчатых (нечетких) множеств. В этой теории принадлежность к классу описывается *функцией принадлежности*, которая характеризует степень уверенности, с которой мы относим объект к классу. Например, в какой степени сорокалетний человек относится к классу «молодые люди», а в какой степени к «немолодым»? В этой теории измерительной шкалой является шкала значений функции принадлежности.

Второй подход состоит в учете того, что распределения вероятностей классифицируемых переменных могут перекрываться. Принимая решение о принадлежности величины к тому или другому классу, мы рассекаем область значений переменной на четкие классы, в результате чего появляются вероятности ошибок (рис. 5.14). Обработкой случайных переменных занимается развитая область знаний — математическая статистика.

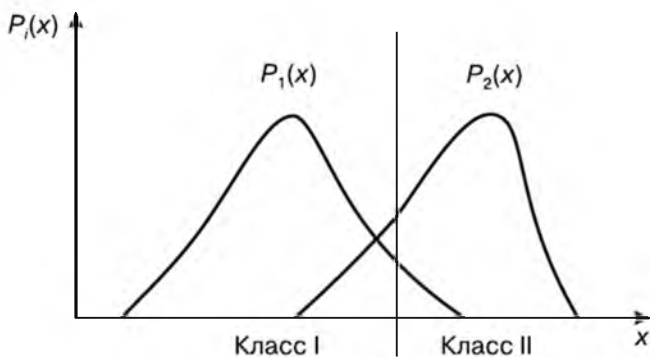


Рис. 5.14

При осуществлении эксперимента получаемый информационный «урожай» зависит от ряда факторов:

- а) как был организован опыт, какие значения и в каком порядке придавались управляемым переменным;
- б) каковы шумы, погрешности, искажения наблюдаемых переменных;
- в) насколько справедливы предположения, заложенные в нашу модель исследуемой системы;
- г) каковы способы, алгоритмы обработки полученных экспериментальных данных.

Значимость этих факторов различна в разных опытах, поэтому развиты специальные теории о том, как повысить качество выводов в зависимости от конкретной комбинации факторов. При необходимости можно обратиться к подходящей из них:

- теория интерполяции и экстраполяции;
- планирование эксперимента;
- непараметрическая статистика;
- робастные методы статистики;
- теория оптимизации;
- поиск и усиление закономерностей.

По этим ключевым словам можно найти в каталогах нужную литературу.

**Зачем такие подробности?** Действительно, предлагаемый текст адресован самому широкому кругу читателей: по убеждению автора, знание основ прикладного системного анализа необходимо, по крайней мере полезно, специалистам любой профессии. Ясно, что если дело дойдет до экспериментов, измерений и обработки полученных данных, особенно в сложных условиях, то редко кто станет все это делать сам, он обратится к специалистам, чтобы получить от них готовый результат.

Но практика показывает, что специалисты часто, пытаясь облегчить себе задачу, пренебрегают некоторыми тонкостями анализа данных, искренне полагая, что они несущественны. Типичным примером является нередко применяемая «оцифровка» качественных данных — классам в порядковой и номинальной шкалах присваиваются номера, а дальше эти номера обрабатываются не как символы, а как числа, с помощью арифметических операций. Но ведь это недопустимые операции для этих шкал! Другой пример — ослабление данных для приведения их к однообразию. В таблице с разношкальными данными сильные шкалы огрубляются до самой слабой (обычно порядковой), так что про-

токол эксперимента становится одношкальным, что облегчает обработку. В отличие от оцифровки, здесь происходит не навязывание чуждой информации, а отказ от части полезной. Это тоже снижает качество выводов.

Главной задачей при изложении данного этапа является направить внимание пользователя услуг по проведению экспериментов на проверку того, а не случилось ли использования недопустимых операций при обработке данных. Например, все числовые шкалы оперируют цифрами. Но мы уже знаем, что цифры в шкале интервалов, отношений и абсолютной должны обрабатываться *по-разному*. При приемке заказа рекомендуется посмотреть, нет ли в алгоритме обработки недопустимых операций.

Еще один важный момент следует иметь в виду — речь идет о согласовании информационной силы измерительной шкалы с информационным потенциалом наблюдаемого явления. Чем сильнее шкала, тем больше «информационный урожай» с эксперимента. Поэтому каждый экспериментатор старается использовать как можно более сильную шкалу. Но ведь нельзя наблюдение с произвольно устанавливаемым нулем считать принадлежащим к шкале отношений. Таким образом, при *прямых* наблюдениях желательно шкалу измерений делать по сильнее, но не сильнее самой природы явления.

Дело еще более осложняется при *косвенных* наблюдениях. Наблюдаемая величина, косвенно связанная с интересующим нас ненаблюдаемым явлением, может принадлежать к любой, в том числе и к самой сильной шкале; тогда как информационный потенциал самого явления может быть существенно ниже. Как обрабатывать данные эксперимента? Ответ состоит в том, чтобы при обработке косвенных данных, в сколь бы сильной шкале они ни фиксировались, не употреблять операций, недопустимых в шкале, отвечающей природе исследуемого явления. Приведем один шуточный и два серьезных примера.

Пусть мы решили измерить силу материнской любви. Прямому измерению эта характеристика не поддается, но можно фиксировать количество поощрений и наказаний, которыми мать наделяет дитя в день. Количество шлепков и конфеток фиксируются в самой сильной — абсолютной (!) шкале. Гипотеза состоит в предположении, что эти величины связаны монотонно с силой любви матери к дитяти. Но если у одной мамы соответствующие характеристики лучше, чем у другой, неправомерно

заключить, что она в два раза сильнее любит свое дитя; можно только сказать, что она сильнее любит, так как сила любви принадлежит к качественной, порядковой шкале.

Второй пример взят из медицины. За показатель интенсивности патологического процесса принимается скорость выпадения осадка при добавлении в пробирку с кровью цитрата натрия; скорость осаждения измеряется в миллиметрах в единицу времени. Эта идея основана на том, что увеличение интенсивности воспаления приводит к повышению содержания глобулина, что увеличивает скорость выпадения осадка. Функциональный вид этой связи неизвестен, для разных пациентов различен и нелинеен: изменение пропорции цитрата натрия или времени осаждения приводит к непропорциональным изменениям высоты осадка. Теперь пусть для одного больного лекарство *A* привело к уменьшению осадка (за 10 минут) с 75 до 60 мм, а для другого лекарство *B* — с 65 до 55 мм. И время осаждения, и высота осадка измеряются в шкале отношений. Но отсюда нельзя заключать, что лекарство *A* эффективнее, так как оно привело к уменьшению осадка на 15 мм, а лекарство *B* — только на 10! Интенсивность воспаления принадлежит к порядковой шкале.

Третий пример — испытание умственных способностей, при котором измеряется время, затрачиваемое испытуемым на решение тестовой задачи. В таких экспериментах время хотя и измеряется в числовой шкале, но как мера интеллекта принадлежит к порядковой шкале.

Итак, главный пафос изложения данного этапа системного анализа направлен на то, чтобы при необходимости экспериментального исследования системы, с которой вам приходится работать, вы, сами ли будете осуществлять эксперименты, или будете заказывать их другим лицам, проверили бы, правильно ли обработаны экспериментальные данные.

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Что такое «активный» и «пассивный» эксперименты?
2. Чем отличаются прямые и косвенные измерения? Как следует учитывать разницу между ними при обработке данных эксперимента?
3. Усвоили ли вы характерные особенности базовых измерительных шкал? Например, заметили ли вы, что количественные шкалы различаются способами задания начал отсчета и единиц измерения?

4. Почему не следует всегда одинаково обрабатывать данные, относящиеся к разным измерительным шкалам?
5. Попробуйте опознать, в каких шкалах сделаны записи в каждом столбце на странице вашей зачетной книжки.

### 5.9. Этап девятый.

#### Построение и усовершенствование моделей

Как уже было отмечено в главе 3, без моделирования невозможно вообще никакая деятельность. В системном анализе модель проблемной ситуации нужна для того, чтобы на ней «проиграть» возможные варианты вмешательств, чтобы отсечь не только те, которые окажутся неулучшающими, но и выбрать среди улучшающих наиболее (по нашим критериям) улучшающие.

Надо подчеркнуть, что вклад в построение модели ситуации делается на каждом предыдущем и на всех последующих этапах (и собственным вкладом, и решением о возврате на какой-то ранний этап для пополнения модели информацией). Поэтому на самом деле нет отдельного, особого «этапа построения модели». И все-таки стоит сосредоточить внимание на особенностях *построения* моделей, а точнее — их *«достраивания»* (т.е. присоединения новых элементов или изъятия лишних). Вот и сделаем это в виде обособления данных операций как бы в отдельный этап анализа.

Многое важное для этой работы мы уже обсудили ранее.

Во-первых, в главе 2 мы обозначили тот факт, что типов моделей всего три: *черного ящика, состава и структуры* (и их нужные комбинации). Там же были обсуждены трудности, с которыми столкнется тот, кому придется строить эти модели; не будем повторяться.

Во-вторых, в главе 3 были обсуждены способы построения моделей — *анализ и синтез*.

В-третьих, в главе 4 мы рассмотрели *метод проб и ошибок*, в ходе которого и осуществляется «достроение», модификация, коррекция моделей путем включения в нее новой информации, полученной при очередном эксперименте с системой.

В-четвертых, в разделе о языковых моделях мы подчеркнули, что по мере повышения степени изученности системы модель системы проходит путь от ее «мягкого», «рыхлого» оформления в вербальной, качественной форме, через наполнение новой информацией (и выражение в «профессиональных» языках), до (в случае необходимости, т.е. если проблема не решилась ранее) ее все более «жесткого», формализованного описания, в конце концов — математического.

Пожалуй, самым удивительным при попытках понять, как устроен мир, является то, что учтя лишь конечные совокупности отношений в бесконечном мире, мы часто добиваемся успехов в достижении наших целей. То ли мир устроен «просто», то ли мы сами весьма «ограниченны», то ли наше взаимодействие с миром «заужено» — это философские вопросы, а факт состоит в том, что конечные, упрощенные модели позволяют нам успешно познавать и преобразовывать (!) бесконечный мир. Но выяснилось, что для этого годятся не любые модели, а отвечающие ряду требований, обобщенных нами в понятии адекватности (глава 3).

**О качественных моделях.** Построение «мягких», «рыхлых» качественных моделей — больше искусство, чем наука. Но есть несколько полезных советов.

1. Следует разделить все входные факторы задачи на управляемые и неуправляемые. Управляемые переменные подвластны нам, неуправляемые характеризуют условия, ограничения задачи.

2. При выделении управляемых переменных надо иметь в виду, что связь между переменными может ошибочно приниматься за причинно-следственную. Приведем пример. В одном городе в США было обнаружено, что в тех районах, где загрязненность воздуха сажей больше, там и заболеваемость туберкулезом выше. Были приняты эффективные меры по борьбе с выбросами сажи в атмосферу. Через несколько лет загрязненность воздуха существенно уменьшилась, а заболеваемость туберкулезом — нет. Оказалось, что главной причиной болезни было недостаточное питание. А связь с загрязнением воздуха была косвенной: в районах с плохой экологией квартплата была ниже и там селились в основном бедные семьи, плохо питающиеся. Итак, ловушка в этом случае состоит в том, что мы относим к числу управляемых только известные, знакомые нам по опыту факторы. Обойти эту опасность можно, создавая междисциплинарные группы разработчиков, с разных сторон смотрящих на проблему.

3. При рассмотрении неуправляемых факторов очень перспективным для решения проблемы является превращение неуправляемой переменной в управляемую. (Вспомним пример с автобусной компанией из главы 1, когда оказалось, что продуктивно в часы пик вывести кондукторов из автобусов на остановки.) И, конечно, перспективно изучение фактора, не управляемого вследствие недостатка знаний о нем.

4. Полезно иметь в виду, что стремление свести все связи к причинно-следственным часто ведет к неадекватности модели.

Желудь не является причиной дуба — необходимо множество других условий, без которых дуб не вырастет из желудя: почва, влага, температура, освещенность и т.д. Полезно использовать понятия направленной корреляции, продуцента — продукта, окружающей среды и условий и т.д.

5. Из научных конструкций, существенно продвигающих построение моделей в «мягкой» ситуации, обращают на себя внимание теория ситуационного управления московской школы, возглавляемой Д.А. Поспеловым, и теория обнаружения и усиления закономерностей новосибирской школы Н.Г. Загоруйко и Г.С. Лбова<sup>1</sup>.

**О количественных моделях.** В практике все большее значение придается количественному моделированию. Модель «прозрачного ящика» (комбинация моделей черного ящика, состава и структуры системы) в этом случае воплощается в виде некоторой формулы или алгоритма, связывающих входные переменные  $X$  с выходными  $Y$ :  $Y = f(X)$ . Количественные модели могут быть описательными, феноменологическими, когда формула конструируется эвристически, а ее коэффициенты подбираются для наилучшего согласования с экспериментальными данными.

Важный аспект такого построения количественных моделей осветил Р. Акофф в своем 21-м «антизаконе менеджмента»:

«Чем меньше менеджеры понимают свой бизнес, тем больше переменных им требуется для его объяснения.  $E = mc^2$  (специальная теория относительности) содержит одну независимую переменную,  $m$ , и объясняет, пожалуй, наиболее сложное явление, понятое учеными. Тогда почему требуется тридцать пять переменных, чтобы объяснить, почему люди предпочитают конкретный магазин и покупают определенную крупу? Ответ очевиден: эти явления не поняты. Чем менее понятно что-то, тем больше переменных нужно для создания якобы объяснения этого.

Именно поэтому, когда менеджеры не понимают, что происходит, они собирают всю информацию, какую только могут. Не зная, какая информация релевантна, они боятся пропустить что-то существенное. Как следствие, они страдают гораздо больше от избытка несущественной информации, чем от недостатка существенной».

Предпочтительной является другая форма количественной модели, когда формула выводится из определенных теоретиче-

<sup>1</sup> См.: Загоруйко Н.Г., Елкина В.Н., Лбов Г.С. Алгоритмы обнаружения эмпирических закономерностей. Новосибирск: Наука, 1985.

ских предположений. В любом случае стоит задача идентификации модели, т.е. определение параметров модели, при которых теоретические предсказания и практические наблюдения согласуются наилучшим образом.

#### **Контрольные вопросы**

1. Какова разница между качественными и количественными моделями?
2. Что значит «превратить черный ящик в прозрачный»?
3. Что такое «идентификация модели»?

#### **5.10. Этап десятый. Генерирование альтернатив**

В любом системном исследовании наступает момент, когда требуется предлагать возможные варианты решения проблемы. В излагаемой технологии это действие производится в два этапа:

1) выявление расхождений между проблемным и целевым месивами. Должны быть четко сформулированы различия между существующим сейчас (и неудовлетворительным) состоянием организации и будущим, наиболее желаемым, идеальным состоянием, к которому предполагается стремиться. Эти различия и есть те пробелы, ликвидацию которых и нужно спланировать;

2) предложение возможных вариантов устранения или уменьшения обнаруженных расхождений. Должны быть придуманы подлежащие осуществлению действия, процедуры, правила, проекты, программы и политики, — все компоненты менеджмента.

Процесс выдвижения, изобретения, придумывания таких вариантов и называется генерированием альтернатив. Это, несомненно, акт творчества, и встает вопрос, как его организовать, как сделать так, чтобы он был выполнен как можно лучше.

**Факторы, влияющие на творчество.** Не будучи в состоянии вникнуть в глубинные механизмы творческого процесса, психологи все же установили ряд факторов, влияющих на результативность попыток творить. Выявлены как позитивные, способствующие творчеству факторы, так и негативные, тормозящие его (узнаете модель черного ящика? — см. рис. 5.15). Ясно, что при сознательной организации этапа генерирования альтернатив положительные факторы следует намеренно поощрять, использовать, а отрицательные — блокировать, исключать, приглушать. А поскольку это можно делать разными способами и в разных комбинациях, то и методов генерирования альтернатив предложено и эксплуатируется много. Например, в «жестких»



методологиях, направленных на решение хорошо формализуемых проблем (типа технических), таких технологий существует десятки.



Рис. 5.15

Для «мягких» технологий, работающих с «рыхлыми», слабо формализованными проблемами, в особенности в управлении социальными системами, отлаженных технологий генерирования альтернатив меньше, но их тоже больше десяти. Прежде чем описывать эти технологии, охарактеризуем сами факторы, используемые в них.

К первой группе факторов отнесем внешние условия, связанные с физиологическими особенностями человека: температуру, освещение, кондицию воздуха, звуковой фон, уютность обстановки — все это влияет на продуктивность творчества. Не вдаваясь в подробности, сразу приведем рекомендацию по учету этих факторов: необходимо создать некий достаточный комфорт для участников процедуры генерирования альтернатив и приспособленность помещения для работы: наличие средств презентации текущих результатов, компьютерной поддержки работы, удобств общения и т.д.

Вторая группа «внутренних» факторов связана с нашими психологическими особенностями.

Из позитивных факторов самым сильнодействующим для порождения новых идей является *общение с другими людьми* (не зря же ученые придают большое значение своему участию в симпозиумах, конференциях; политики — съездам, собраниям; руководители — совещаниям; врачи — консилиумам и т.д.). Отсюда — рекомендация *проводить данный этап в виде коллективной, групповой работы*. Оказывается, что люди порождают больше идей при взаимодействии друг с другом, нежели стараясь придумать что-нибудь по отдельности. Доказано, что группа экспертов, располагающих одной и той же информацией о проблеме, генерирует намного больше вариантов ее решения, если они работают, обмениваясь по ходу дела информацией, чем действуя порознь.

Конечно, индивиды различаются по творческому потенциалу, и желательно иметь наивысший возможный результат, собрав талантливых людей, но в реальных ситуациях нас ограничивает ряд факторов.

Во-первых, доступ к авторитетным, опытным, высококвалифицированным экспертам обычно ограничен (в том числе и финансово); во-вторых, требование учета мнений и интересов непосредственных участников рассматриваемой проблемной ситуации (ведь целью является создание улучшающего вмешательства) означает необходимость их привлечения к личному участию в системном исследовании, поэтому приходится работать с теми, кто есть, с присущими им творческими возможностями. Следовательно, методика генерирования альтернатив должна быть инвариантной к изобретательским способностям его участников.

Наблюдение, что «ум хорошо, а два — лучше», имеет под собой два основания. Первое состоит в том, что новые идеи есть эмерджентный результат соединения известных идей, так что человек в поисках ответа на вопрос обшаривает закоулки своей памяти, ища то, что пригодится. Поскольку поле информации (мир моделей) у каждого индивида свое, то обязательно есть то, что один из них знает, а другой — нет. Поэтому общие возможности поиска «подходящего» у двоих больше, чем у одного (рис. 5.16); и, следовательно, еще одна рекомендация возникает по индукции: чем больше людей, тем шире общее поле априорной информации, на котором они станут искать подходящие идеи.

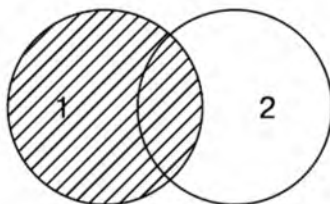


Рис. 5.16

Однако эмерджентный эффект группового творчества объясняется не только, и даже не столько тем, что объединяются индивидуальные знания. Главную роль начинает играть та особенность нашего мышления, которая названа его *ассоциативностью*. Предоставленный сам себе наш мозг непрерывно работает, переходя от одной мысли к другой. При этом каждая последую-

шая мысль связана с предыдущей, как бы отталкивается от нее. В результате ход наших мыслей можно изобразить в виде непрерывной кривой блуждания по полю нашей информации (рис. 5.17; звездочками изображены «подходящие» для нашей проблемы идеи). Думая в одиночестве, мы используем внутренние ассоциации, выискивая полезные идеи. Если же мы услышим, что придумали другие, то мы как бы перескакиваем с нашей внутренней траектории в такую область своей памяти, куда мы не заглядывали и не заглянули бы без этого внешнего воздействия. Таким образом, включается внешняя ассоциация, которая может толкнуть на новую идею, не обнаруженную при поиске на внутренних ассоциациях (рис. 5.18). В этом и кроется вторая, и основная, причина эффективности группового творчества. Отсюда очередная рекомендация: для повышения эффективности технологии генерирования альтернатив в ней следует обеспечивать общение между исполнителями.



Рис. 5.17

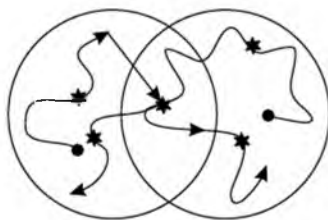


Рис. 5.18

Но тут вступают в действие другие психологические особенности людей. Оказывается, напряженная работа по выдумыванию вариантов решения проблемы может длиться недолго: 30—45 минут, максимум час (не зря академический час в наших

учебных заведениях длится 45 минут). После этого активность субъекта резко падает. А акт общения между двумя людьми занимает определенное время. Это значит, что за время активности творческой деятельности можно обеспечить ограниченное количество контактов (порядка 100). Это приводит к новой рекомендации: число участников не должно превышать 6—12 человек. (Это ограничение не жесткое, но отклонение от него: меньше 6 снижает, а больше 12 не повышает продуктивность работы.)

В совокупности с первой особенностью группового мышления (объединение индивидуальных знаний) можно сформулировать еще одну рекомендацию: желательно подбирать участников генерирования альтернатив как можно более разных по их априорной информации, возрасту, профессии, образованию, жизненному опыту и т.д. Это обеспечит максимальное расширение информационного поля для поиска новых идей при ограниченности числа участников (рис. 5.19).

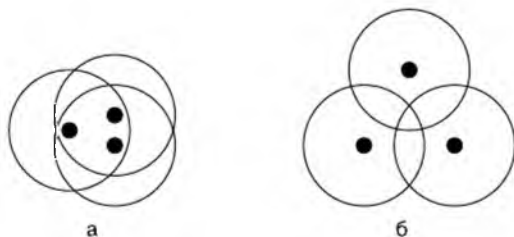


Рис. 5.19

С сожалением можно отметить, что факторов, отрицательно действующих на процесс творчества, гораздо больше, чем положительных. Приходится принимать меры по их нейтрализации. Заметно выделяются по их силе три таких фактора.

**Первый** — *ответственность за вносимое предложение*. Если человек чувствует, что за предложением идеи может последовать в каком-то виде ответственность за нее, он скорее всего воздержится от ее высказывания. Выдвижение идеи и ее реализация требуют разных качеств личности, и они нечасто соединяются в одном лице. Это не всегда понимается и принимается (вспомним времена, когда от всех ученых требовали «внедрения» их открытий в практику, и поговорку «Инициатива должна быть наказана», означающую возложение исполнения идеи на ее автора). Отсюда рекомендация: освободить участников генерирования альтернатив от ответственности за вносимые предложения. Это можно делать по-разному: либо юри-

дически (подобно тому, как штабные офицеры, предлагающие варианты предстоящего боя, не отвечают за последствия варианта, выбранного командиром), либо организационно, обеспечивая анонимность автора (по примеру научных журналов, засекречивающих имена референтов, критикующих поступившие статьи).

Вторым сильно мешающим творчеству фактором является *критика*. Психика человека устроена так, что если он предвидит критику в свой адрес за вносимое предложение, он вообще не станет высказываться. Отсюда следующая рекомендация: в технологиях генерирования альтернатив нужно принять меры к блокировке критики. В некоторых социальных системах этот момент интерпретируется иначе — вспомним лозунг советских времен: «Критика и самокритика являются движущей силой нашего общества». На самом деле критика играет позитивную роль, только если она конструктивна, т.е. направлена не на личность, а на движение конкурирующих идей и их сравнение. Это также надо учитывать в технологиях данного этапа.

Третья сильно тормозящая творчество причина — это *априорные ограничения на искомые решения*. В стремлении сэкономить интеллектуальные усилия мы сознательно или подсознательно отсекаем те кладовые нашей памяти, куда «не стоит» заглядывать. Кроме того, внешние воздействия (идеология, вера или предубеждения) могут накладывать свои запреты. Но иногда (а на данном этапе — часто) оказывается, что наиболее эффективные решения лежат именно там, «куда не стоит заглядывать».

В качестве наглядного примера воспроизведем задачу Р. Акоффа. Пусть заданы девять точек на сторонах и в центре квадрата (рис. 5.20). Задача: 1) соединить все точки непрерывной линией; 2) линия должна быть ломаной (т.е. состоять из отрезков прямой); 3) число отрезков не должно превышать четырех. Обычно оказывается, что многие испытывают затруднения в поисках решения, и только из-за того, что сами наложили на себя ограничение — ломаная линия не должна выходить за пределы квадрата. При этом ограничении решения не существует! Этого ограничения нет в постановке задачи! Стоит от него отказаться, и появляется целых четыре решения (одно показано на рис. 5.21). Кое-кто удивится, если сказать, что есть решения с числом отрезков, меньшим четырех. Но удивление исчезнет, если снять опять-таки неосознаваемое ограничение, будто листок, на котором нанесены точки, нельзя складывать: его можно так сложить, что и три, и два, и даже один отрезок соединит все точки.

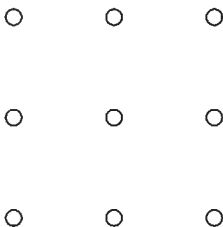


Рис. 5.20

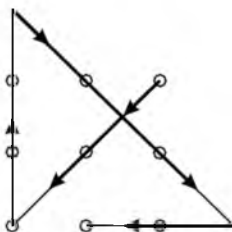


Рис. 5.21

Итак, мы пришли к рекомендации, что в технологии генерирования альтернатив следует включать мероприятия, по возможности снимающие или ослабляющие априорные ограничения. Это непросто, поскольку эти ограничения неявные. Но на двух примерах можно видеть, как это делается. Студентам-архитекторам предлагается напрячь воображение и спроектировать дом при условии, что сила тяжести направлена не вниз, а вбок. Иногда предлагаемые новые конструкции могут использоваться в обычных условиях. Второй пример — идеализированное проектирование по Акоффу, когда исполнителям предлагается создать проект устраивающей их системы (взамен существующей и неустраивающей) без учета его физической, финансовой и т.д. реализуемости. Впоследствии оказывается, что многие качества идеализированного проекта могут быть осуществлены даже при неизбежных ограничениях.

Для случая решения проблем управления организацией (менеджмента) можно привести рекомендации по снятию априорных ограничений. В этом случае эти ограничения заключаются в том, какой моделью организации руководствуется менеджер. А снятие ограничений состоит в сообщении о существовании других моделей и предложении посмотреть на свою проблемную ситуацию с позиций этих других моделей (см. этап четвертый).

**Разные технологии генерирования альтернатив.** Поскольку указанные выше (а также другие) факторы, влияющие на творчество, можно использовать по-разному и в разных комбинациях, неудивительно, что предложено и эксплуатируется много разных технологий генерирования альтернатив. Существуют разные взгляды на то, как именно нужно это делать. В двух моментах (комфортность и коллективность) согласны все, а дальше начинаются расхождения.

Можно усмотреть два принципиально различающихся подхода. Сторонники первого считают абсолютно необходимым разделять этап предложения альтернатив и этап оценки выдвигаемых предложений. Этот подход обосновывается тем соображением, что оценка альтернативы — это ее критика, которая может удерживать от предложения других идей. При таком подходе главной целью этапа генерирования альтернатив является порождение максимального количества идей, поскольку при этом повышается вероятность появления действительно хорошего предложения (анalogией может служить артиллерийская стрельба по площади, на которой находится цель с неизвестными точно координатами: чем больше снарядов выпущено по площади, тем выше вероятность поражения цели). Типичными технологиями первого подхода являются мозговой штурм, метод Делфи, морфологический анализ.

Сторонники второго подхода исходят из допустимости критики и дискуссий в ходе порождения альтернатив и считают целью не многочисленность альтернатив, а выход на небольшое, но качественное их число (две-три, а иногда — только одну). Типичные технологии этого подхода: метод ТКЖ, синектика, поисковая конференция, диалектический подход, идеализированное проектирование, ТРИЗ Альтшулера, методика «адвоката дьявола» и др.

Рассмотрим вкратце некоторые технологии.

**Мозговой штурм (Brainstorming).** Этот очень эффективный, легко реализуемый и широко используемый метод был предложен А. Осборном «с единственной целью — получить полный список идей». Важной особенностью его является абсолютный запрет на критику высказываемых идей — участники настоятельно предупреждаются об этом и в случае нарушения запрета виновный немедленно удаляется из группы.

Процедуру мозгового штурма можно описать как последовательность следующих этапов:

- 1) отбор нескольких максимально различных участников;
- 2) ознакомление их с правилами работы;
- 3) изложение всей имеющейся информации о проблеме;
- 4) использование любых психологических способов для повышения желания достичь успеха, создания атмосферы рабочего азарта, вдохновения группы;

5) явно сформулировать предвидимые априорные ограничения, сориентировать участников на их преодоление;

6) этап использования внутренних ассоциаций — участникам предлагается записать каждую возникшую у них идею на отдельной карточке (для удобства последующего анализа);

7) этап включения внешних ассоциаций — каждый участник (в произвольном порядке) оглашает свои результаты предыдущего этапа. Остальные записывают возникшие у них в ходе прослушивания новые идеи;

8) оглашение новых карточек продолжается, пока не иссякнет воображение участников штурма. Обычно это происходит через 30–40 минут с итогом в несколько десятков предложенных альтернатив. Затем все карточки собираются и передаются для анализа другой группе экспертов (хотя нередко сами участники штурма проявляют желание участвовать в этом).

Этот классический вариант мозгового штурма дополняется несколькими модификациями:

— перед «настоящим» штурмом проводить «разминочный» мозговой штурм на какой-нибудь простой проблеме, не связанной с основной. Это особенно полезно, если все в группе впервые участвуют в мозговом штурме;

— многократно чередовать внутреннюю и внешнюю ассоциации: три–пять минут молчания (и размышления) сменяются тремя–пятью минутами огласки идей, а затем — снова период молчания и т.д.;

— повторный мозговой штурм той же проблемы через два-три дня. Здесь используется тот факт, что в подсознании тоже постоянно идет активная обработка информации и за следующие после штурма дни могут возникнуть новые идеи; известны даже случаи, когда идеи рождались во сне, на прогулке и т.п.;

— «обратный» мозговой штурм, при котором целью является не порождение новых идей, а отыскание недостатков у существующего варианта и поиск способов их устранения;

— письменные варианты мозгового штурма (*«brainwriting»*):



а) метод «6—3—5». Шесть человек записывают (каждый на своем листке) по три идеи. Затем листки передаются соседу слева. Тот дополняет идеи пришедшего к нему листка любыми собственными ассоциациями в развитие первоначальных трех идей. Затем производится очередная передача листков по кругу в прежнем направлении, и следующий участник пополняет начальные три идеи своими дополнениями. Таких передач будет пять (откуда и название метода). Итогом работы будет шесть листков, на каждом из которых три корневых идеи первого автора и их развитие пятью соавторами. Если каждый соавтор добавит лишь по одной альтернативе к каждой из трех первоначальных, то и тогда на каждом листке окажется по 18 идей, а на всех шести листках 108,

б) метод «*brainwriting-pool*» («письменная складчина»). В отличие от «6—3—5» число участников может быть любым. Листки с первыми тремя идеями бросаются в общую кучу («пул»), из которой каждый наугад берет себе очередной листок, дополняет его и возвращает в пул. (Если случайно попался листок, который уже был у вас, его заменяют другим.) Процесс завершается по желанию участников.

Высокая эффективность мозгового штурма широко известна.

Метод Делфи (*Delphi*) чаще применяется для коллективной экспертизы, но его можно использовать и для генерирования альтернатив. В таком варианте метод отличается от мозгового штурма тем, что участникам обеспечивается анонимность — их предложения обнародуются без указания авторства. Это вначале осуществлялось путем передачи карточек координатору, который размножал их в печатной форме и раздавал участникам; в последние годы создано программное обеспечение, поддерживающее процедуру Делфи в сетевой конфигурации персональных компьютеров: каждый участник вводит свои предложения через клавиатуру и получает на экран своего компьютера предложения всех остальных. В связи с анонимностью текстов метод Делфи снимает запрет на критику: она автоматически не может иметь персональную направленность. Поэтому возникают своеобразные диалоги и дискуссии, влекущие внесение поправок и дополнений в исходные варианты.

Хотя теоретически число циклов процедуры Делфи не ограничено, на практике она завершается после трех-четырех итераций.

**Морфологический анализ.** Еще один оригинальный, простой и очень эффективный метод генерирования альтернатив был предложен Цвикки. Участникам предлагается не придумывать альтернативы сами по себе, а лишь выдвигать требования к ним и предлагать разумные градации этих требований.

Это действительно аналитический метод — по существу, речь идет о порождении модели состава, т.е. набора компонент, из которых впоследствии могут быть сконструированы альтернативы. Схема для морфологического анализа дана в табл. 5.3.

Таблица 5.3

Таблица морфологического анализа вариантов

Свойство	$C_1$	$C_2$	$C_3$	...	$C_i$	...	$C_m$
Градация свойств	$C_{11}$	$C_{21}$	$C_{31}$	...	$C_{i1}$	...	$C_{m1}$
	$C_{12}$	$C_{22}$	$C_{32}$	...	$C_{i2}$	...	$C_{m2}$
	...	...	...	...	...	...	...
	$C_{1j}$	$C_{2j}$	$C_{3j}$	...	...	...	$C_{mj}$
	...	...	...	...	...	...	...
	$C_{1N}$	...	...	...	...	...	...

Участники стараются выдвинуть как можно больше требований к будущей системе, появление которой должно решить проблему, и для каждого требования найти рациональный набор градаций для осуществления той или иной степени выраженности предложенного качества.

Примеры морфологического анализа есть в книге Ф.И. Перегудова и Ф.П. Тарасенко<sup>1</sup>. В разделе «Этап одиннадцатый. Выбор, или принятие решений» мы проведем морфологический анализ проблемы выбора.

Морфологический анализ порождает огромное количество альтернатив. Ведь альтернативы могут различаться хотя бы одним значением. В результате число  $N$  альтернатив равно  $\prod_j^n n_j$ , где  $m$  — число качеств;  $n_j$  — число градаций  $j$ -го качества;  $N_j$  легко достигает многих тысяч для одного акта анализа. Заботой специалистов будет впоследствии решить, какие из этих альтернатив заслуживают реализации; а у участников морфологическо-

<sup>1</sup> См.: Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Основы системного анализа. 3-е изд., испр. и доп. Томск: НТЛ, 2001.

го анализа одна забота — предложить как можно больше вариантов. Достоинством морфологического анализа является также возможность его выполнения одним человеком.

Перейдем теперь к другим технологиям, порождающим альтернативы, но не настолько строго разделяющим генерирование альтернатив от других операций системного анализа — как от предварительных шагов (например, структуризации проблемы), так и от последующих (например, оценки и отсеивания самих альтернатив).

Метод ТКЖ (в доступных источниках эта аббревиатура не расшифровывается) был предложен С. Кобаяши и А. Кавакитой. В этом методе сначала предлагается найти общую, приемлемую для всех стейкхолдеров формулировку проблемной ситуации, а затем по той же технологии сформулировать обобщенное решение проблемы.

Метод ТКЖ состоит в том, что участники генерируют: на первом этапе — формулировки фактов, относящихся к проблеме, а на втором — предложения конкретных действий по ее решению. Затем внесенные идеи агрегируются, обобщаются до получения одного-единственного предложения.

Алгоритм метода ТКЖ можно изложить следующим образом:

Этап 1. Определение проблемы.

1.1. Определить предмет озабоченности (проблему).

1.2. Участники записывают факты, относящиеся к проблеме, каждый факт на отдельной карточке. (Факты, приводимые экспертами, должны отвечать двум условиям: а) они должны иметь существенное отношение к проблеме; б) они должны быть объективно проверяемы.)

1.3. Карточки собираются, размножаются по числу участников, и каждый участник получает полный комплект карточек.

1.4. Записи на каждой карточке поочередно зачитываются вслух.

1.5. Участники отбирают из своего комплекта факты, имеющие отношение к только что оглашенному факту, образуя группу взаимосвязанных фактов.

1.6. Каждой такой группе фактов участник подыскивает обобщенное название, отражающее суть всей группы. Эти названия заносятся на отдельные карточки.

1.7. Затем выполняется этап 1.4 и последующие, пока все факты не будут внесены в какую-либо группу.

1.8. Оглашаются карточки с названиями групп.

1.9. Участники стараются объединить названия групп в новые, более общие группы со своими обобщающими характеристическими описаниями. Этот процесс продолжается до тех пор, пока не будет получено одно-единственное описание, охватывающее все факты. Это и станет описанием проблемной ситуации (проблемного месива) в целом.

Этап 2. Поиск улучшающего вмешательства.

2.1. Выполнение мозгового штурма (см. выше).

2.2. Карточки с предложениями возможных решений проблемы размножаются и раздаются участникам.

2.3. Содержание очередной карточки оглашается.

2.4. Участники выбирают предложения, которые могут быть объединены в некоторое единое, более общее предложение.

2.5. Это обобщающее предложение формулируется явно и записывается на новую карточку следующего уровня.

2.6. Обобщения снова оглашаются, и делаются усилия по их объединению в еще более общие формулировки до тех пор, пока не будет получена наиболее общая формулировка для мероприятий по решению проблемы.

В итоге предположительно должен появиться проект улучшающего вмешательства, учитывающий интересы всех сторон, вовлеченных в проблемную ситуацию.

**Синектика.** Синектика — процедура, разработанная У. Гордоном, который определил ее как «соединение разных и на первый взгляд несовместимых элементов» для разрешения парадокса или проблемы. Она основана на мышлении по аналогии и порождении метафор, т.е. установлении совместимости совершенно различных концепций по отношению к одной проблеме. Целью синектики является порождение одной, но высококачественной альтернативы.

Технология синектики начинается с определения «сути» проблемной ситуации. Ее конфликты и парадоксы выражаются в виде вопроса, охватывающего в самом общем виде уникальность ситуации, а затем ищется метафора, отвечающая на него. Метафора ищется в области, как можно более удаленной от проблемной ситуации; например, если проблема связана со слухом, можно пытаться искать метафору, связанную со зрением или осязанием.

Иллюстрацией может служить проблема, возникшая из-за того, что один из живущих в одной комнате хочет слушать громкую музыку, а другой хочет читать в тишине. Суть ситуации выражается вопросом: «Как осуществить громкую тишину?» От-

вещающая на вопрос метафора: «Пуля, вошедшая в одно тело, не может поразить другое». Это наводит на предложение, чтобы любитель громкой музыки использовал наушники.

Процедура синектики может быть описана следующим образом:

1. Поиск сути проблемы.

1.1. Описание проблемы.

1.2. Анализ проблемы.

1.3. Формулировка сути проблемы.

2. Поиск метафоры.

2.1. Преобразовать формулировку сути в форму вопроса, навевающего воспоминания и эмоции, активизирующие воображение.

2.2. Нахождение метафоры, «отвечающей» на вопрос.

2.3. Анализ получившейся аналогии.

3. Поиск решения проблемы.

3.1. Определение функциональных требований к решению путем «подгонки» аналогии к проблеме.

3.2. Окончательная формулировка решения.

**Поисковая конференция (Search conference).** Ф. Эмери и Т. Вильямс разработали метод «поисковой конференции», т.е. исследовательского семинара, целью которой (-го) является найти эффективные способы адаптации организации к изменениям в окружающей среде. Метод близок к широко известному в экономике и менеджменте SWOT-анализу, но отличается в деталях. Алгоритмически поисковую конференцию можно описать следующим образом:

1) участникам предлагается дать их восприятие «тенденций в обществе в целом»;

2) ответы обобщаются, чтобы создать «картину изменений, происходящих в широком социальном поле, к которому принадлежит рассматриваемая система, но над которыми она не имеет (почти или совсем) прямого контроля»;

3) участники рассматривают «силы, которые определяли или, вероятно, будут определять эволюцию их организации или сообщества. На этой стадии участники могут сделать важные суждения о соответствующих целях своей системы»;

4) им следует «определить ограничения, которые неизбежно проистекают из нехватки ресурсов, из существующих структур и культуры»;

5) далее они формулируют «стратегии планируемой адаптации»;

б) затем обсуждается «вопрос, какие шаги необходимы, чтобы начать согласованные изменения».

**Диалектический подход** к решению проблем был развит С. Черчменом, Р. Мэйсоном, Дж. Эмшоффом, И. Майтрофом и др. Основная цель — явно высветить предположения, на которых будет основан план решения проблемы. Способ состоит в сознательном столкновении противоположных мнений. Две или более команды намеренно разрабатывают различные, конфликтующие решения одной и той же проблемы. Группы комплектуются так, чтобы они представляли разные позиции (разные уровни иерархии в организации, кратко- и долгосрочные горизонты планирования, разные стратегии, и т.д.). Конфронтация между ними и их решениями и обнажает предположения, лежащие в основе их предложений. Во время дебатов сторонам допускается задавать вопросы для выяснения и уточнения позиций. Например, чем отличаются их исходные предположения? Кто из стейкхолдеров является наиболее важным для стороны? Насколько различаются их оценки важности предполагаемых вмешательств? Какие предположения другой стороны вызывают наибольшие сомнения или возражения? По итогам дискуссии стороны могут вносить изменения в свои предложения.

Затем лицо, принимающее решение, синтезирует свое решение с учетом аргументов обеих сторон.

Как и в большинстве ситуаций соперничества, диалектический подход драматичен. Каждая из сторон в итоговых дебатах старается сделать все возможное, чтобы убедить принимающего решение, что предлагаемый ею вариант лучше, чем у другой стороны. Третьей стороне, выслушав обе конфликтующих стороны и используя аргументы обеих, вырабатывает свое собственное решение.

Диалектическая процедура обнажает произвольность некоторых ограничительных предположений и выявляет их последствия. Она фокусирует внимание на следствиях, выводимых из данных, и показывает, что одни и те же данные могут интерпретироваться по-разному в зависимости от сделанных предположений.

Можно изложить диалектический процесс в виде следующего алгоритма.

#### 1. Подготовка.

1.1. Лицо, принимающее решение, создает две или более группы, обеспечив их одинаковыми целевыми установками и набором исходных данных.

1.2. Каждая группа разрабатывает решение, заведомо конфликтующее с предложением другой группы. При этом предположения формулируются настолько четко, явно, насколько это возможно.

## 2. Конфронтация.

2.1. Каждая команда представляет свой вариант лицу, принимающему решение, в присутствии противоборствующей стороны и защищает его изо всех сил.

2.2. После презентаций каждая команда атакует другую, стараясь ослабить позиции противника и усилить свои.

2.3. Принимающий решение может задавать вопросы любой из сторон в любой момент.

## 3. Синтез.

Лицо, принимающее решение, формулирует свое собственное решение, используя информацию, предоставленную обеими противоборствующими сторонами, и явно выделяет аргументы, на которых основано третейское решение, чтобы их можно было бы проследить в ходе реализации принятого решения.

**Идеализированное проектирование.** Мы уже описывали разработанный Акоффом метод при рассмотрении этапа целевыявления. Приведем сейчас более детальное его описание.

Идеализированный проект — это то, что стэйкхолдерам хотелось бы иметь, если бы они могли иметь любую желаемую систему. Этот проект должен быть технологически реализуем и операционно жизнеспособен, т.е. мог существовать, будучи осуществлен, — но он может быть составлен без учета того, когда и как он может быть реализован. Кроме того, система должна быть спроектирована так, чтобы быть способной к быстрому и эффективному обучению и адаптации. Это требует, чтобы:

1) стэйкхолдеры системы могли вносить изменения в проект при желании на любом этапе;

2) если возникает объективно неразрешимое сейчас условие проекта, то в сам проект системы должна быть встроена практическая процедура для разрешения его;

3) система должна быть спроектирована так, чтобы все решения, принимаемые в ней, и предположения, на которых основываются эти решения, были подвержены непрерывному контролю.

Результат такого проектирования не утопичен и не является идеалистичной системой, так как он может быть улучшен извне и самоулучшаться; скорее он является наилучшей системой, стремящейся к идеалу, который могут вообразить его создатели.

Идеализированное проектирование можно описать в виде трех действий:

1) выбор миссии — генеральной цели проектируемой системы, ее роли в охватываемой, большей системе, частью которой является сама система и ее стэйкхолдеры;

2) определение желаемых проектантом и стэйкхолдерами свойств будущей системы;

3) проектирование системы, т.е. определение того, как реализовать названные свойства.

Итоговый проект должен покрывать каждый аспект системы: ее социальные и технологические процессы, организацию, систему управления, входы, выходы и т.д.

Обычно изготавливаются две версии проекта: ограниченная (т.е. без существенных изменений в окружающей среде существующей системы) и неограниченная (т.е. с ее изменением).

Процесс идеализации освобождает его участников от даже неосознанно накладываемых на себя ограничений, поскольку он отбрасывает соображения реализуемости. Когда такой проект завершен, обычно его разработчики осознают, что его большая часть вполне реализуема и что они сами являются основной препоной для будущего, которого они так желают.

Интерактивное планирование состоит из шести взаимосвязанных действий, осуществляемых одновременно, так как весь процесс ведется непрерывно:

1) формулирование проблемного месива;

2) планирование целей (технологически осуществимых);

3) планирование средств (политик, программ, проектов, операций и т.д.);

4) планирование ресурсов (деньги, кадры, оборудование, помещения, необходимые товары и услуги, информация);

5) проектирование процесса реализации планов (кто, что, где и когда должен делать, как распределяться ресурсы);

6) проектирование управления (как будет осуществляться мониторинг, обучение и адаптация организации).

Подробное описание этого метода дано в книге Р. Акоффа и др. «Идеализированное проектирование», изданной на русском языке издательством Баланс Бизнес Букс (Днепропетровск, Украина) в 2007 г.

**О других технологиях.** Известно еще несколько технологий, способствующих творческому процессу, которые базируются не на теоретических положениях, а на практическом опыте; они



скорее «инженерны», чем «научны». Подобно тому как инженеры запустили ракеты раньше, чем была разработана теория баллистики; как мосты, плотины, здания строили до создания теорий конструкций и сопромата, так и ряд процедур, улучшающих творческий процесс, был предложен без определения понятия самого творчества и теории, его объясняющего<sup>1</sup>. Из числа упомянутых там методов приведем предложенный 30 лет назад де Боно метод «бокового мышления» («lateral thinking»), состоящий в реструктуризации данных и понятийных комбинаций в нечто новое.

Подход Эдварда де Боно основан на идее привлечения правополушарного (образного, эмоционального, интуитивного) мышления к генерированию альтернатив, наряду с левополушарным (логическим, формальным). В ряде его публикаций предлагается собрание эвристических, эмпирических приемов, способствующих появлению новых идей (например, «Десять правил простоты» Э. де Боно<sup>2</sup>) или такие советы как:

- 1) генерировать альтернативные способы описания ситуации;
- 2) явно сформулировать предположения и подвергнуть их критическому рассмотрению;
- 3) выявить повторяющиеся темы и модифицировать их;
- 4) выявить использование стереотипов и заменить их;
- 5) выявить повторяющиеся препятствия и преодолеть их;
- 6) сознательно направить внимание на области, ранее не замечаемые;
- 7) выявить аспекты ситуации, рассматриваемые впервые, и уже известные, но рассматриваемые с другой точки зрения;
- 8) найти другие способы декомпозиции и агрегирования проблемной ситуации;
- 9) использовать случайное привнесение новых элементов в проблемную ситуацию.

Однако, де Боно предложил две технологии генерирования альтернатив.

Первая технология названа им «*Random Entry*» — *метод случайных ассоциаций*. Случайным образом (например, наугад из сло-

---

<sup>1</sup> Раздел, посвященный обзору таких методов, содержится в статье Р. Акоффа и Е. Вергар «Творчество в решении проблем и планировании» (European Journal of Operational Research. 1981. № 7. Р. 1–13; следует тут же отметить, что существенная часть данного параграфа основана на этой замечательной статье).

<sup>2</sup> См.: Bono E. de. Simplicity. London: Penguin, 1999.

варя) набирается несколько любых слов, а затем группа ищет ассоциации каждого слова с решаемой проблемой, направленные на ее решение. Например, для поиска идей по привлечению клиентов банка путем предоставления им новых услуг были выбраны слова «группа (музыкантов)», «церковь», «компьютер» и «шутка». Ассоциации по первому слову породили предложения по музыкальному сопровождению работы банка; по второму — использовать в банке приятные ароматы, как в церкви; среди идей по третьему слову — обеспечение клиентам свободного доступа в Интернет в филиалах банка, меры защиты клиента во время пользования банкоматом, дарение клиентам электронных арифмометров; по четвертому — создание остроумного маркетингового лозунга, показ смешных мультфильмов в зале ожидания; и т.д.

Вторая технология Э. де Боно — «Six Thinking Hats» — поочередное групповое рассмотрение важных аспектов искомого варианта решения проблемы. Де Боно считает, что всестороннее рассмотрение любой проблемы состоит из учета шести аспектов. В ряде технологий (например, в обычном мозговом штурме) каждому участнику предлагается размышлять в любом из этих направлений по его усмотрению. Де Боно считает, что из-за невозможности сосредотачивать внимание сразу на всех аспектах упускается много полезных идей. Он предлагает сосредотачивать внимание группы поочередно на каждом из шести главных аспектов. Для этого на стол кладется одна из шести разноцветных шляп, и группа ведет мозговой штурм только в данном направлении:

- 1) сбор фактов — Белая шляпа;
- 2) положительные аспекты: возможности — Желтая шляпа;
- 3) отрицательные аспекты: угрозы — Черная шляпа;
- 4) варианты, отличающиеся от предложенных, — Зеленая шляпа;
- 5) эмоции, связанные с предложенным вариантом, — Красная шляпа;
- 6) организационные и операционные аспекты — Синяя шляпа.

Как видим, метод направлен не только на предложение альтернатив, но и на вопросы их реализации, и рассмотрение последствий.

В заключение данного этапа отметим, что все перечисленные методы предназначены для решения «мягких», «рыхлых» проблем («жесткие» проблемы решаются методами оптимизации). Приведенный перечень методов содержит те, которые наи-

более опробованы и обнародованы; это не исчерпывает всех возможностей, и есть множество публикаций по другим (в основном эмпирически найденным) технологиям. Выделим среди них теорию решения изобретательских задач (ТРИЗ) Альтшулера.

#### **Контрольные вопросы и задания**

1. Почему на данном этапе групповое творчество предпочтительнее индивидуального?
2. Назовите три фактора, сильно тормозящих творческий процесс.
3. Опишите алгоритм мозгового штурма.
4. Почему в технологии Делфи допускается критика высказанных идей?
5. Чем отличается морфологический анализ от мозгового штурма?

#### **5.11. Этап одиннадцатый. Выбор, или принятие решения**

**Выбор как стремление реализовать цель.** Рано или поздно наступает момент, когда дальнейшие действия могут быть различными, приводящими к разным результатам, а реализовать можно только одно действие, причем вернуться к ситуации, имевшей место в этот момент, уже нельзя. Наступает момент *выбора*.

Естественно, выбирается тот вариант, который наиболее (по мнению выбирающего) соответствует его цели. Именно выбор является реализацией целенаправленности всей деятельности субъекта.

Способность сделать правильный (т.е. наиболее приближающий к осуществлению цели) выбор — очень ценное качество, присущее людям в разной степени. Великие полководцы, выдающиеся политики, гениальные инженеры и ученые, талантливые администраторы отличались и отличаются от своих коллег или соперников прежде всего умением принимать лучшие решения, делать лучший выбор.

Естественно стремление понять, что такое «хороший» выбор, выработать рекомендации, как приблизиться к наилучшему решению, а если возможно, то и предложить точный алгоритм получения такого решения. Выяснилось, что разнообразие ситуаций простирается от хорошо изученных, достаточно формализованных, описываемых математически (так называемых «жестких», «твердых» — hard) ситуаций до плохо структурированных, описываемых на разговорном или профессиональных, далеких от математического, языках («мягких», «рыхлых» — soft) ситуаций с различными промежуточными вариантами.

Для «жестких» задач выбора разработана вполне строгая формальная методика нахождения наилучшего в заданных условиях (*оптимального*) решения. В случае «рыхлой» постановки задачи осознана неединственность решения и разработана «мягкая» технология поиска приемлемых, «улучшающих» вмешательства. В промежуточных случаях сочетаются (в разных пропорциях) интеллектуальные способности человека решать неформальные задачи и подходящие формальные методы математики и компьютерного моделирования (системы поддержки принятия решений, экспертные системы, базы данных, автоматизированные системы управления и т.п.).

На предыдущих этапах системного анализа было подготовлено все необходимое для выбора: есть множество альтернатив, на котором предстоит сделать выбор (этап десятый); определены цели, ради достижения которых производится выбор (этап шестой); выбраны критерии для сравнения альтернатив по степени их пригодности для достижения целей (этап седьмой). Данный же этап посвящен рассмотрению проблем собственно выбора, т.е. процесса принятия решений.

В самом общем виде выбор можно определить как *целевое сужение множества альтернатив*: часть этого множества  $X$  признается приемлемым ( $C(X)$  на рис. 5.22), остальные отвергаются. Обычно стараются свести к одной-единственной альтернативе, но иногда это неразумно или даже невозможно.

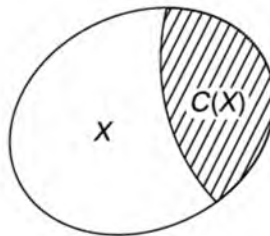


Рис. 5.22

Стремление к тому, чтобы наш выбор был как можно более правильным, побуждает к построению некоторой теории выбора, которая предлагала бы средства синтеза алгоритмов выбора и их анализа (сравнения). Однако попытки построить «общую теорию принятия решения» наталкиваются на серьезные трудности.

**Множественность задач выбора.** Выясним разнообразие ситуаций выбора с помощью метода морфологического анализа. В со-

ответствии с этим методом перечислим факторы, определяющие характер выбора, и их градации.

1. Множество альтернатив  $X$  может быть конечным, счетным или континуальным (что требует разных методов оптимизации).

2. Типы критериев могут принадлежать разным измерительным шкалам (грубо разобьем их на качественные и количественные).

3. Число критериев тоже влияет на методику выбора: весьма существенна разница между одно- и многокритериальными задачами.

4. Число лиц, принимающих решение (ЛПР), тоже приводит к совершенно разным способам выбора (будем различать односторонний и многосторонний выборы).

5. Степень согласия между ЛПР существенно влияет на способ выбора. По-разному принимаются решения при совпадении интересов сторон (коллективный выбор) и при их противоположности (выбор в конфликтной ситуации). Возможны промежуточные случаи (компромиссный выбор, коалиционный выбор, выбор в условиях конфликта, выбор при переменной конфликтности).

6. Характер неопределенности последствий выбора — варьируется от полной определенности (когда точно известны последствия выбора каждой альтернативы) до неопределенности разного типа: незнания последствий, знания вероятностей исходов, расплывчатой неопределенности. Каждый из этих вариантов требует совершенно специфического подхода, иных математических методов.

7. Повторяемость ситуации выбора. Различны подходы к принятию решений при разовом (уникальном, неповторяемом, первом) выборе и выборе повторном, многократном в аналогичных ситуациях, допускающем использование предыдущего опыта, с учителем или без него и т.д.

8. Ответственность за последствия выбора. Неверный выбор ведет к потерям. Потери могут быть приемлемыми, небольшими, а могут быть нетерпимыми, недопустимыми. Конечно, в этих случаях выбор нужно делать по-разному.

Уже учет только перечисленных факторов дает  $3 \times 2 \times 2 \times 2 \times 4 \times 4 \times 2 \times 2 = 800$  вариантов задач выбора. Каждый из них требует специального сочетания методов из разных областей знаний. Становится понятным, почему нет (и не может быть) универсальной теории принятия решений. И действительно, разработаны различ-

ные теории для разных типов ситуаций выбора: теория оптимизации (определенность исхода, односторонний выбор, одно- или многокритериальные задачи); математическая статистика (стохастическая неопределенность); теория размытых множеств (расплывчатая неопределенность); теория коллективного выбора (многосторонний выбор при единстве цели); теория игр (многосторонний конфликтный выбор) и т.д. Для некоторых ситуаций пока не найдено алгоритмических решений (неявное задание критериев, незнание существенных параметров и т.д.), когда приходится действовать «по интуиции», «согласно здравому смыслу», «наугад» и пр.

В рамках данного курса представляется полезным дать обзор наиболее часто встречающихся ситуаций выбора и употребляемых в этих случаях методов принятия решений.

**Критериальный выбор.** Основой данного варианта выбора является предположение о том, что каждую отдельно взятую альтернативу можно оценить конкретным числом (значением критериальной функции). Тогда сравнение альтернатив сводится к сравнению соответствующих им чисел.

Пусть  $x$  — некоторая альтернатива из множества  $X$ . Считается, что для всех  $x \in X$  может быть задана функция  $q(x)$ , которая называется *критерием* (*критерием качества, условной функцией, функцией предпочтения, функцией полезности* и т.д.) и обладает тем свойством, что если альтернатива  $x_i$  предпочтительнее альтернативы  $x_j$  (будем обозначать это  $x_i \succ x_j$ ), то  $q(x_i) > q(x_j)$ , и обратно:

$$[x_i \succ x_j] \Leftrightarrow [q(x_i) > q(x_j)].$$

Если теперь сделать еще одно важное предположение, что выбор любой альтернативы приводит к однозначно известным последствиям (т.е. считается, что выбор осуществляется в условиях полной определенности) и значение  $q(x)$  численно выражает оценку этих последствий, то наилучшей альтернативой  $x^*$  является, естественно, та, которая обладает наибольшим значением критерия:

$$x^* = \arg \left[ \max_{x \in X} q(x) \right].$$

Задача отыскания  $x^*$ , простая по постановке, часто оказывается сложной для решения, поскольку метод ее решения (да и сама возможность решения) определяется как характером множества  $X$  (размерностью вектора  $x$  и принадлежностью его компонент к конечному, дискретному или континуальному множествам), так и типом критерия (является ли  $q(x)$  функцией или функционалом, каким

именно, заданным явно или неявно, в виде равенства или неравенства и т.д.). Университетский курс методов оптимизации, посвященный решению таких задач, является одним из самых объемных и сложных. Но сложности эти технические, а в принципе задача проста: нужно максимизировать критерий при заданных ограничениях.

Задача существенно усложняется при переходе от единственного к нескольким критериям. Правильнее даже будет сказать, что многокритериальная задача принципиально отличается от однокритериальной. Это проявляется уже на примере двухкритериальной задачи (рис. 5.23).

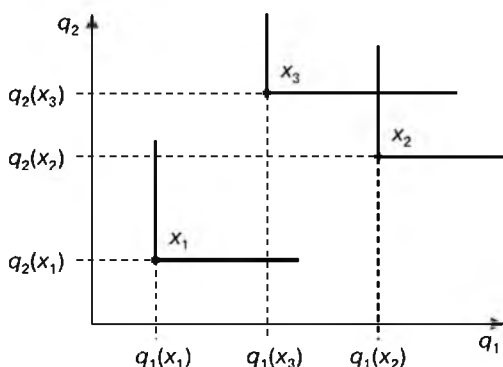


Рис. 5.23

Если сравнивать альтернативы  $x_1$  и  $x_2$  или  $x_1$  и  $x_3$ , то никаких сомнений не возникает, поскольку и  $x_2$  и  $x_3$  по обоим критериям  $q_1$  и  $q_2$  лучше  $x_1$ . Но как сделать выбор между  $x_2$  и  $x_3$ ? Каждый из них лучше другого по одному критерию и хуже — по другому.

В теории выбора произошла история, подобная анекдоту, в котором математика попросили описать алгоритм получения чая. «Все просто, — ответил он. — Нужно в чайник налить воды, поставить его на огонь, довести до кипения, бросить в него заварку. Через три минуты чай готов». А если вам дадут чайник с водой? «Нужно вылить воду из чайника, и задача сводится к предыдущей» — был ответ. История состоит в том, что были сделаны попытки решать многокритериальную задачу путем сведения ее к однокритериальной (или последовательности однокритериальных), так как способ решения последней очевиден. Было разработано несколько методов, из числа которых стали (к сожалению) употребительными следующие.

*Построение «суперкритерия», «глобального критерия»  $q_0(x)$  как некоторой комбинации локальных критериев  $q_1(x), \dots, q_k(x)$ :*

$$q_0(x) = f[q_1(x), q_2(x), \dots, q_k(x)].$$

Наряду с техническими сложностями объединения критериев, измеряемых в разных шкалах (сложности решаемы искусственными приведениями их к одной шкале), все упирается в выбор упорядочивающей функции  $f$ : ее задание будет приводить к выбору единственной альтернативы, но при переходе к другой упорядочивающей функции выбор будет иным. Чувствуется наличие нежелательного, но неизбежного произвола.

*Условная оптимизация*, при которой выделяется один «наиболее важный» критерий, остальные переводятся в разряд условий, т.е. фиксируются на приемлемом для заказчика уровне. Вариантом такой задачи является задание условий в виде неравенств. И в этом случае налицо произвольность получаемого решения, которое зависит от задаваемых условий.

*Метод уступок*, при котором критерии упорядочиваются по важности, а затем оптимизация производится по наиболее важному критерию. После этого назначается уступка по этому критерию, т.е. величина, на которую мы согласны понизить достигнутое значение первого критерия, чтобы в пределах этой уступки максимально повысить значение второго. И так далее. Здесь произвол присутствует в виде упорядочения критериев и величин уступок по каждому из них.

*Лексикографическое упорядочение*. В отличие от метода уступок, критерии считаются настолько сильно отличающимися по важности, что применение следующего критерия производится только в том случае, если предыдущий дал неоднозначный ответ, и без всяких уступок. Термин «лексикографический» применен в связи с тем, что этот принцип используется в словарях: там упорядочение слов соответствует порядку букв алфавита в искомом слове.

*Метод задания уровня притязаний*. В отличие от предыдущих методов в данном случае производится не поиск лучшей (в том или ином смысле) альтернативы, а задание ее желательных качеств и проверка, есть ли среди наличных альтернатив  $X$  именно такая. При положительном ответе желательно указать существующие превосходящие заданную альтернативы, при отрицательном — существующие ближайшие по заданным критериям.

Хотя через каждые два года проводятся международные симпозиумы Ассоциации многокритериального принятия решений (MCDM: Multy-Criteral Decision Making), где обсуждаются новые варианты перечисленных выше методов, отметим, что все эти методы суть попытки применить однокритериальное мыш-



ление к многокритериальному случаю. Инертность мышления заставляет искать единственно верное решение, тогда как в многокритериальном случае такового, как правило, не существует.

Между тем адекватное решение многокритериальных задач было предложено еще в начале прошлого века математиком-экономистом Парето. Оно основано на том, что *предпочтение одной альтернативе перед другой следует отдавать, только если первая по всем критериям лучше* второй. Если же предпочтение хотя бы по одному критерию расходится с предпочтением по другому, то такие альтернативы признаются несравнимыми и одинаково предпочтительными.

На примере рис. 5.23 введем понятия доминирующих и доминируемых альтернатив. Альтернатива, по всем критериям уступающая другой ( $x_1 < x_2$ ;  $x_1 < x_3$ ), называется *доминируемой*, а превосходящая ее по всем критериям — *доминирующей*. Теперь выбор в многокритериальном случае становится очевидным: следует отбросить все доминируемые альтернативы. Но результат в общем случае становится неоднозначным, например в случае, представленном на рис. 5.23, итогом выбора являются  $x_2$  и  $x_3$ ; лучше их по обоим критериям вариантов нет, а между собой они *несравнимы*.

Множество недоминируемых альтернатив называют *паретовским множеством*. Это и есть адекватное решение многокритериальной задачи.

Однако в реальной жизни можно реализовать только один вариант, и возникает вопрос: какой из вариантов из паретовского множества надо осуществлять? Встает вопрос о выборе на паретовском множестве. Его элементы несравнимы, т.е. одинаковы в том смысле, что лучше их по всем критериям нет, поэтому выбрать можно любой. Есть разные способы выбора в такой ситуации.

*Волевой выбор*: лицо, принимающее решение, самостоятельно определяет, какой вариант осуществлять, либо прибегает к услугам экспертов.

*Случайный выбор*: решение отдается воле случая (бросание монеты, игральной кости и т.п.).

*Введение дополнительных критериев*, различающих альтернативы из паретовского множества (в частности, применение глобального критерия или введение нового).

Интересный вариант выбора на паретовском множестве предложили Д.С. Хэммонд, Р.Л. Кини, Г. Райффа<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Хэммонд Д.С., Кини Р.Л., Райффа Г. Равноценный обмен: рациональный подход к достижению компромисса // Эффективное принятие решений. Серия «Harvard Business Review», М.: Альпина Бизнес Букс, 2006. С. 27—48.

Трудность сравнения и выбора между данными, выраженными в различных измерительных шкалах, предлагается преодолевать методом «равноценного обмена». Идея состоит в том, чтобы сравнивать не сами данные (они в принципе несравнимы), а сопоставлять выигрыш или потери, которые получаются в результате предпочтения одного другому.

Метод разработан для случая выбора среди нескольких альтернатив по совокупности нескольких критериев, — ситуации, типичной в управленческой практике. Метод можно изложить в виде следующего алгоритма:

1) ситуация представляется двумерной «Таблицей последствий» (аналог таблицы «Объект — свойства»), по вертикали которой перечисляются критерии («цели»), а по горизонтали сравниваемые варианты. Таблица заполняется целиком, случай пропущенных данных (незаполненных ячеек таблицы) не рассматривается;

2) устраняются все доминируемые альтернативы;

3) если значения какого-то критерия для всех недоминируемых альтернатив совпадают, этот критерий можно исключить из рассмотрения как несущественный для выбора;

4) делается попытка привести некоторый неравнозначный критерий к одному значению для всех альтернатив, чтобы его можно было исключить из рассмотрения. Предлагается делать это методом «равноценного обмена», увеличивая значение одного критерия, уменьшая значение другого на эквивалентную (по потерям) величину. Если это удастся, данный критерий исключается;

5) этап 4 применяется к каждому критерию, пока не останется одна альтернатива или один критерий, по которому и осуществляется выбор.

Главной трудностью этой методики является определение стоимости изменения величины каждого критерия. Например, при выборе между рейсами разных авиакомпаний трудно осуществить обмен степени безопасности на удобство времени вылета. В таких случаях рекомендуется перейти к рассмотрению более легко сравнимых пар критериев. Может случиться, что сделав самые простые обмены, вы получите решение, и не потребуется ломать голову над сложными обменами.

Главный итог данного раздела состоит в том, что для многокритериальной задачи не существует единственно верного решения, есть некоторое (паретовское) множество приемлемых решений, из которых можно принять любое.

**Выбор на основе парных сравнений.** В реальной жизни часто встречаются случаи, когда никакие критерии не позволяют выделить «самую лучшую» альтернативу. Например, у боксера можно измерить вес, объем мышц, определить скорость реакции и т.д., но по этим данным нельзя предсказать, станет ли он чемпионом. В таких случаях критериальный язык теряет смысл, а с ним и соответствующие методы становятся неприменимыми.

Однако, хотя адекватная оценка отдельной альтернативы при этом невозможна, существует возможность поставить две альтернативы в такую соревновательную ситуацию, где они в реальности сравнили бы свои качества, и исход такого соревнования определит их порядок предпочтения. Примерами таких ситуаций являются турниры, конкурсы, бои — любые парные сравнения.

Если альтернатив больше, чем две, то возникает вопрос: как выделить среди них наиболее предпочтительную, если мы располагаем только результатами попарных сравнений? По поводу такой задачи созданы довольно разветвленные математические теории, поскольку множество альтернатив может быть конечным, счетным или непрерывным, а сами отношения между парами можно описывать по-разному. Для наших целей ограничимся представлением парных сравнений так называемым графом предпочтений.

Граф предпочтений — это рисунок, который получается следующим образом (рис. 5.24).

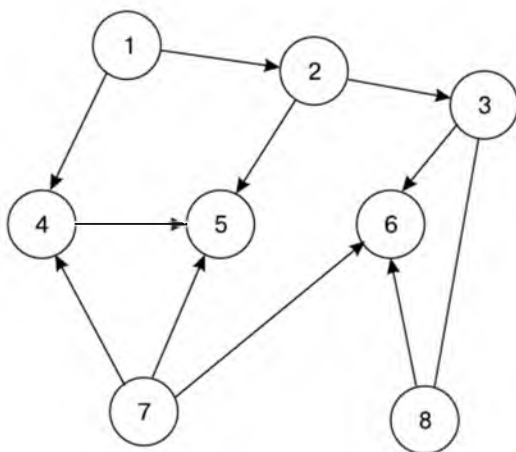


Рис. 5.24

На рисунке 5.24:

- 1) кружочками изображаются альтернативы;
- 2) они пронумеровываются (это будут вершины графа);
- 3) если какие-то две альтернативы сравниваются, между ними проводится линия (называемая ребром или дугой графа);
- 4) если в сравнении «победила» одна альтернатива, это обозначается стрелкой в сторону проигравшего;
- 5) если исход ничейный, линия остается ненаправленной.

Располагая таким протоколом наблюдений, можно выделить «самые лучшие» альтернативы. Для этого нужно определить критерий, кого считать «лучшим», и сделать это можно по-разному. Например, считать лучшим того, кто не проиграл ни разу. Тогда выделятся альтернативы 1, 7 и 8. Можно (для различения между ними) взять критерием количество выигранных «боев»; тогда лучшей станет 7-я альтернатива. Но может вызвать возражение проведение неодинакового числа боев для разных участников. Становится ясным, что для справедливого сравнения нужно провести встречи «каждого с каждым». Правда, и при этом может не оказаться «самого лучшего» по избранному критерию (например, не окажется того, кто не проиграл ни разу). Придется вводить другие критерии. Но главным препятствием для получения полного набора парных сравнений становится их большое количество —  $N(N-1)$  — при больших  $N$ , поэтому стало бы невозможным определение чемпиона мира ни по одному виду спорта. Правда, спортсмены разработали сокращенные, приближенные способы определения лидера — либо зональные соревнования с последующими сражениями между победителями зон, либо олимпийская система с выбыванием после первого поражения.

**Об общей теории выбора.** В реальной практике выбора встречаются случаи, когда и основное предположение теории парных сравнений не выполняется. Оно состоит в том, что порядок предпочтения в паре определяется только качествами сравниваемых альтернатив и не зависит от наличия или отсутствия других альтернатив. Если это не так (например, выбор между молотым кофе или в зернах зависит от наличия у вас кофемолки), то и язык парных сравнений теряет свое значение. Мало смысла строить теории сравнения на основе отношений между тремя, четырьмя и т.д. вариантами.

Предложен очень высокой степени абстракции язык «глобальных функций множеств». Он основан на понятии функции выбора. Эта функция  $C(X) \subseteq X$  имеет своим «аргументом» все множество  $X$  альтернатив  $x \in X$ , а ее «значением» является некоторое

подмножество множества  $X$  (от пустого множества — отказ от предложенного, до всего  $X$  — «беру все») (рис. 5.25). Предъявляя функции  $C(X)$  те или иные требования, можно описывать различные ситуации выбора (в том числе и рассмотренные выше). Функция выбора оказалась малоизученным и весьма сложным математическим объектом; мы не станем углубляться в подробности, ограничившись приведенным упоминанием лишь для полноты картины<sup>1</sup>.

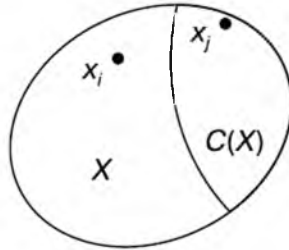


Рис. 5.25

**Коллективный выбор.** Из многочисленных задач выбора особый практический интерес представляет задача многостороннего принятия решения, когда выбор осуществляется не одним лицом, а группой лиц. При этом предполагается высшая степень согласия между членами группы относительно общей цели, выбор же приходится делать между вариантами средств достижения этой цели.

Типичным примером являются выборы на руководящий пост. Из нескольких кандидатов на этот пост можно избрать лишь одного, и каждый избиратель волен выразить свое личное предпочтение. Групповое решение  $C_0(X)$  о наиболее предпочтительном кандидате  $x_j \in X = \{x_1, \dots, x_k\}$  получается путем «пересчета» всех индивидуальных предпочтений  $C_1(X), C_2(X), \dots, C_N(X)$ , где  $N$  — число избирателей, в одно «коллективное» предпочтение  $C_0(X)$  с помощью заранее объявленной и принятой всеми членами группы процедуры  $f: C_0(X) = f[C_1(X), C_2(X), \dots, C_N(X)]$ . Такую операцию называют *процедурой голосования*.

Представляет большой интерес выяснить, какими свойствами обладают процедуры голосования, как в силу их практической значимости, так и в связи с их разнообразием (функцию  $f$  можно задавать по-разному). Тем более, что часто результаты

<sup>1</sup> Подробности см.: Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Основы системного анализа. 3-е изд., испр. и доп. Томск: НТЛ, 2001.

голосования оказываются неожиданными, а иногда — нежелательными. При этом многие полагают, что сменив одно правило голосования на другое, можно избежать «неправильного» результата не только сейчас, но и в дальнейшем. Это заблуждение. Необходимо хорошо понимать природу голосования, чтобы правильно им пользоваться.

**Семь парадоксов голосования.** «Ум — хорошо, а два лучше» — гласит поговорка, предполагающая случай, когда оба ума (а по индукции — и большее число умов) с одинаковыми намерениями пытаются найти хороший выбор.

При расхождении мнений в группе голосование является единственно возможным способом формирования «общего» мнения, коллективного решения. Но процедуры голосования обладают рядом свойств, в некоторых случаях дающих неожиданный или нежелательный результат. Перечислим такие свойства, назвав их *парадоксами голосования*.

1. *Коллектив не всегда прав.* Коллектив состоит из субъектов, каждый из которых может заблуждаться. Это приводит к тому, что голосование, даже единогласное, не гарантирует правильности принятого решения. Надо все же отметить, что за счет взаимной компенсации противоположных мнений вероятность ошибки коллективного мнения меньше, чем «среднеиндивидуального», но она остается не равной нулю. Известны случаи (Бруно, Галилей, Коперник и др.), когда один несогласный располагал истиной, а все остальные заблуждались. Таким образом, голосование предназначено не для добывания истины, а для согласования действий группы после голосования: все члены группы подчиняются принятому решению, даже если кто-то был с ним не согласен.

2. *Возможность непринятия решения.* Хотя голосование предназначается для принятия решения, любая процедура голосования может закончиться тем, что согласованные условия принятия решения не будут выполнены и, следовательно, решение не будет принято. Поясним это примерами. Скажем, «простое большинство» (50% плюс один голос) не сработает, если голоса четного числа голосующих разделятся поровну. Поправка «председателю — решающий голос» эту ситуацию обходит, но если нечетное число голосующих поделится так, что председатель окажется в половине, меньшей на один голос, то возникает вопрос: а чему равен «решающий голос»? При принятии «квалифицированным» большинством (в  $2/3$ ) на ученых советах бывали случаи, что защищаемому не хватало малой доли голоса. Даже при принципе едино-

гласия (консенсус, право вето) решение может быть не принято. Таково свойство всех процедур голосования.

3. *Парадокс Кондорсе* (так он назван по имени математика, разъяснившего этот парадокс). Суть парадокса в возможности цикличности графа предпочтений (рис. 5.26). Например, пусть каждая из трех фракций парламента, образующих большинство лишь попарно, выдвинула свой вариант законопроекта:  $a$ ,  $b$  и  $c$ . Или три парня заспорили, чья девушка лучше, и намерены решить этот вопрос голосованием. Если у этой тройцы индивидуальные предпочтения таковы:  $(a > b > c)$ ,  $(b > c > a)$  и  $(c > a > b)$ , то они попали в парадокс Кондорсе. Любая процедура либо закончится неприятием решения (так как при таких предпочтениях нет решения), либо при искусственном прерывании процедуры (например, при парном сравнении по олимпийской системе) исход будет зависеть от того, в какой последовательности будут рассматриваться пары.

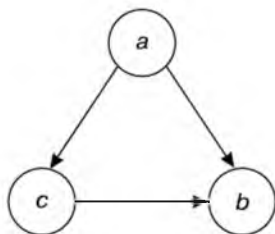


Рис. 5.26

Иногда парадокс Кондорсе несущественен (если цикл предпочтения окажется в нижней части цепи альтернатив и не повлияет на выбор лидера). Если же его необходимо разрешить, то выход может быть в том, чтобы убедить одного из голосующих (сейчас это называется черным или белым «пиаром») изменить свое упорядочение альтернатив, не меняя первенства своей. Цикличность графа исчезнет, решение станет единственным.

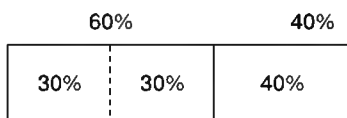
4. *Возможность победы меньшинства при мажоритарной системе голосования.* Пусть решение принимается по большинству голосов (это и есть мажоритарная система). Оказывается, при этом существуют возможности законной победы меньшинства, да к тому же таких возможностей несколько.

Первая — признание легитимными (законными) выборы при низкой (меньше 50%) явке избирателей. Решение автоматически предоставляется меньшинству. Трудно осуждать такую ситуацию, так как

неучастие в выборах означает безразличие к тому, какое решение будет принято; пусть оно будет принято теми, кому это безразлично.

Но меньшинство может победить и при стопроцентной явке избирателей.

Вторая такая возможность — «растаскивание» голосов. Поясним это примером. Пусть одна коалиция обладает 60% потенциальных голосов, второй принадлежит 40% электората (рис. 5.27). Если первые выдвинут двух кандидатов, да еще равноценных, а вторые одного — победит меньшинство. Причины растаскивания голосов могут быть разными, а результат один.



Электорат

Рис. 5.27

Но меньшинство имеет шансы победить при стопроцентной явке и без растаскивания голосов. Снова поясним это примером. Пусть решение принимается большинством голосов в  $\frac{2}{3}$ . Если в итоге победил представитель меньшинства, значит, на последнем этапе процедуры он набрал большинство. Если же участников последнего этапа голосования самих выбирали по тому же правилу, то возможна ситуация, изображенная на рис. 5.28. Легко видеть, что победило меньшинство в  $\frac{4}{9}$ , против  $\frac{5}{9}$ . Для реализации такой возможности необходимо выполнение трех условий:

а) выборы должны быть многоступенчатыми (так как на каждой ступени решение принимается по большинству голосов);

б) меньшинство должно соблюдать дисциплину голосования (т.е. голосовать именно там, где требует организация всего дела: если хоть один из них поменяется местами с противником — по пунктирным стрелкам на рисунке, то у них ничего не выйдет);

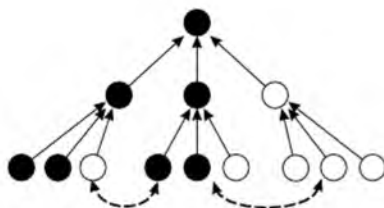


Рис. 5.28



в) меньшинство должно быть достаточно многочисленным для обеспечения своего большинства на последнем этапе. Будь в нижнем ряду не 4, а 3 представителя меньшинства, снова ничего не получилось бы. Однако доля меньшинства может быть меньшей, если ввести дополнительные уровни голосования. Так, если дополнить схему рис. 5.28 еще одним уровнем, то пропорция меньшинства в  $\frac{4}{9}$  (44,4%) снизится до  $\frac{8}{27}$  (33,7%). Приведенная схема имеет не только теоретический интерес: многоступенчатые схемы голосования употребляются в жизни, например определенная конституцией двухступенчатая процедура выборов Президента США уже 4 раза из 43 приводила к победе кандидатов меньшинства. Последний раз — 2002 г. в соперничестве Буша и Гора: первый победил при наличии лишь 48% голосов на первичных выборах.

В другом виде парадокс мажоритарной системы заложен в избирательном законе Австралии. Интересное отличие состоит в том, что голосование там одноразовое (т.е. физически одноступенчатое). Однако, в отличие от нас, австралийский избиратель обязан не только указать, кому из кандидатов он отдает первенство, но и пронумеровать всех остальных кандидатов в порядке предпочтения. Обработка бюллетеней производится по следующей процедуре (в которой заложены уже известные нам парадоксы). Из всех бюллетеней извлекаются кандидаты, получившие высший балл (№ 1). Набравший необходимый для избрания пороговый процент голосов проходит в парламент. В случае, если никто из них такого процента не набрал (вариант растаскивания голосов!), счетная комиссия делает выборку всех кандидатов, получивших в бюллетенях второй номер, и повторяет проверку на превышение установленного порога и так далее до уровня, на котором кто-то достигнет порога (как видим, вместо физической многоступенчатости реализуется алгоритмическая). В австралийском парламенте бывают представлены партии, набравшие очень низкий процент голосов. Их шанс состоит в том, что голоса будут растасканы на всех, кроме последнего, уровнях. А дисциплина голосования меньшинства состоит в том, что они выполняют указание своего руководства — ставить в бюллетенях своего кандидата на последнее место. Если процедура опустится на последний уровень — там мы все, плюс все те, кто поставил нас на последнее место. Этого вполне хватит для преодоления барьера на получение мандата.

5. *Парадокс подавляющего большинства.* Многие полагают, что при голосовании по принципу «один человек — один голос», чем больший процент голосов наберет альтернатива, тем более демократично принятое решение. Это — заблуждение. Видимо, такое впечатление основано на том, что политики чувствуют себя тем более уверенно, чем большая часть электората поддерживает их; тем в большей степени они ощущают себя представителями народа.

Парадокс состоит в том, что такое впечатление психологически понятно, так как основано на распространенных понятиях «наши и не наши», «свой и чужие»; но оно не имеет никакого отношения к понятию демократии. Какой бы высокий процент большинства ни был назначен для легитимности принятия решения, решение не является демократическим. Поясним это простым примером.

Предложим максимально «демократичную» процедуру голосования, состоящую всего из двух правил:

а) решение принимается при любом числе  $N$  голосующих только в том случае, если «за» проголосовало не менее  $N - 1$  человек, и лишь один (не более!) «против». (Еще раз подчеркнем:  $N$  может быть сколь угодно большим.),

б) каждый голосует «за», если предложенная альтернатива ему лично не наносит ущерба (и тем более, если она ему выгодна).

Кажется невозможным предложить более «демократическую» процедуру. Но если общество утвердило ее для коллективного принятия решений, оно распрощалось с демократией. Теперь председательствующий может (если захочет) через эту процедуру реализовать любое удобное ему лично решение.

Например, пусть по этой процедуре мы будем решать, переходить ли нам всем из одного состояния в другое. Пусть «состояние» — это наличие у каждого определенной суммы. Утверждение: из любого начального состояния с помощью введенного правила вас можно перевести в любое наперед заданное состояние за конечное число шагов. Для наглядности: пусть я хочу «перекачать» все ваши деньги в один карман. Шаг первый: кто за то, чтобы у такого-то (имярек) отобрать все деньги и раздать их всем поровну? Исход ясен. Можно, для ускорения процесса, предложить у такого-то отобрать деньги и отдать целевой персоне. Процедура и тут сработает. Рано или поздно цель будет достигнута, и вполне легитимно. Не надо думать, что пример этот искусственный. Хуже того, в практике применения принятия решений

«подавляющим большинством» оно сопровождалось устранением недовольных. Достаточно вспомнить акции раскулачивания 30-х гг. прошлого века, решения о которых принимались комитетами бедноты.

Суть парадокса состоит в том, что данная процедура узаконивает принесение в жертву интересов одного всем остальным. При этом остальные забывают, что каждый из них может стать такой же жертвой.

Таким образом, голосование по большинству и демократия — это просто разные вещи. Суть демократии не в том, чтобы все могли принять участие в прямых и тайных выборах. Решения могут приниматься как коллективно, так и единолично; а демократия состоит в том, чтобы на этапе исполнения решения были защищены интересы любого меньшинства, и прежде всего — основные права каждой отдельной личности (право на жизнь, право на собственность, право на свободу). Однако демократичность выборам придает их периодичность: на следующих выборах народ может исправить свою ошибку, если одобренная ранее им политика оказалась ушербной.

6. *Парадоксы единогласия.* Если определить демократию как защиту интересов каждого, то единственной демократической процедурой голосования оказывается единогласное принятие решений: свои интересы уже на этапе принятия решения может отстоять каждый, проголосовав против не подходящей для него альтернативы.

Известны ответственные практические ситуации, в которых применяется принцип единогласия: право вето в некоторых парламентах; принятие решений Советом Безопасности ООН; выборы кардиналами очередного папы римского; вынесение вердикта о виновности подсудимого судом присяжных; принятие решений в акционерных обществах с неограниченной ответственностью. Этого же принципа настоятельно рекомендуется придерживаться в ходе прикладного системного анализа, так как его конечной целью является создание улучшающего вмешательства.

Однако и в этом случае возникают парадоксальные ситуации. Во-первых, иногда принцип единогласия («все за») подменяется принципом консенсуса («никто не против»), тогда как это разные вещи: воздержавшиеся отождествляются с согласными, отсутствующие исключаются из принимаемых во внимание. Ярким примером является решение Совета Безопасности о проведении войны в Корее под флагом ООН, принятое в отсутствие представителя СССР.

Вторая парадоксальная ситуация возникает, когда желательное решение никак не может набрать 100% голосов. Существует по крайней мере два способа попытаться достичь согласия в такой ситуации.

Первый — поиск компромисса. Проиллюстрируем это диаграммой на рис. 5.29. Если изобразить кругами множества приемлемых альтернатив трех лиц, принимающих решение, то недостижение единогласия объясняется просто отсутствием альтернативы, приемлемой для всех. Выход может состоять в том, чтобы кто-то (добровольно или под влиянием) расширил свой круг приемлемости так, чтобы появились взаимоприемлемые варианты (пунктирная линия их охватывает).

Второй способ можно назвать «способом лестницы». Если мы не можем запрыгнуть на сарай, мы подставляем лестницу и поднимаемся вверх по ступенькам. Так и здесь — можно попытаться подойти к желаемой, но никак сразу не достигаемой единогласно цели мелкими шагами, каждый из которых реализуется единогласно. Интересный пример такой реальной попытки приводит из своей практики Р. Акофф:

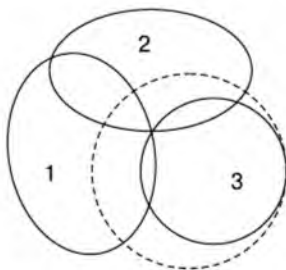


Рис. 5.29

«Консенсус часто трудно достижим, но редко невозможен. Я обнаружил, что в трудных случаях очень эффективна следующая процедура. Первое — максимально уточнить формулировки альтернатив, между которыми консенсус не достигает выбора. Второе — коллективно построить тест эффективности альтернатив и консенсусом принять решение, что данный тест справедлив и что все согласны следовать его результату. Третье — провести тест и использовать его результат. Я смог успешно применить эту процедуру даже в таком случае, когда законодатели одного государства не могли прийти к согласию, вводить или нет смертную казнь за убийство. В результате обсуждения члены законодательного органа пришли

к согласию, что все имеют одну цель — минимизировать число жертв убийств. Как только такое согласие было достигнуто, проблема была сведена к конкретному вопросу: уменьшает ли введение смертной казни число убийств? Все согласились, что необходимо провести исследование, отвечающее на этот вопрос. Такое исследование было проведено, и его результаты использованы (оно показало, что число убийств в ряде государств до и после отмены или введения смертной казни заметно и значимо не изменялось)»<sup>1</sup>.

Если же не удастся достичь согласия не только по поводу самих альтернатив, но и относительно способа их проверки, то, по мнению Р. Акоффа, следует найти консенсусное решение, что же делать дальше. Интересно его наблюдение, что в таких случаях обычно принималось решение поручить выбор одному из авторитетных и ответственных лиц (далее мы еще вернемся к этому моменту).

В целом парадоксы единогласия связаны с заблуждением о его природе. Бытует мнение, будто единогласие — признак верности решения: чем ближе мы к единогласию, тем ближе истина. Это заблуждение обсуждалось при рассмотрении первого парадокса. Само такое мнение основано на действительном повышении *статистической* надежности решения при увеличении объема выборки, что, однако, не гарантирует его *абсолютной* правильности.

Это не означает, что стремление к единогласию и консенсусу в принципе ошибочно и должно быть отвергнуто. Оно играет существенную роль в нашем мире. Но, если не принимать во внимание, что оно подавляет серьезные споры и возражения, это может вести к нежелательным последствиям типа коллективных патологий «кланомыслия» и «группомыслия» (см. этап двенадцатый). Оно ограничивает разнообразие мнений, а не расширяет его; сужает простор для дискуссий. Оно бывает необходимым, но является недостаточным для жизни в нашем сложном и изменчивом мире. Нужны другие способы мышления и действия. Ведь известно, что чем важнее и сложнее вопрос, тем труднее (или вообще невозможно) достичь всеобщего согласия.

7. *Теорема Эрроу о невозможности.* Самые общие теоретические результаты о коллективном выборе были получены Эрроу, за что он был удостоен Нобелевской премии по экономике. Наибольшую известность получила его «Теорема о невозможности».

---

<sup>1</sup> См.: Наука и искусство системной практики: Труды Международного «круглого стола» IIASA, Лаксенбург, Австрия, 6—8 ноября 1986 г. / Ред. Ф.И. Перегудов, пер. Ф.П. Тарасенко. М.: НИИ ПВШ, 1989.

В ней вопрос стоит так: можно ли сказать что-нибудь содержательное обо всех процедурах выбора? Ответ: обо всех нет, а о процедурах «хороших», «приемлемых», т.е. удовлетворяющих определенным разумным требованиям, можно попытаться.

Из всевозможных функций  $F$  от индивидуальных выборов  $C_i(X)$  ( $C_0(X) = F[C_1(X), \dots, C_M(X)]$ ) выделим те, которые отвечают требованиям, выражающим наше понимание того, что такое «правильный», «справедливый», «хороший» коллективный выбор. Таких требований, по сути, всего четыре (в оригинале есть и другие, но они чисто технические математически):

а) все индивидуальные предпочтения  $C_i(X)$  должны как-то быть учтены; не должно быть такого индивида, чье мнение принимается обязательным для всех, независимо от мнения остальных (функция  $C_0(X) \equiv C_1(X)$  называется «диктаторской», и это условие выражает нежелательность диктаторства);

б) если в результате группового выбора предпочтение было отдано какой-то альтернативе, то это решение не должно меняться, если кто-нибудь из ранее отвергавших ее изменил свое мнение в ее пользу (условие монотонности);

в) если изменения индивидуальных предпочтений не коснулись каких-то альтернатив, то в новом групповом упорядочении порядок этих альтернатив не должен измениться (условие независимости альтернатив). Поясним это требование примером. Пусть  $C_0(X) = F[C_1(X), \dots, C_i(X), \dots, C_M(X)]$ . Мысленно вернемся назад, изыдем из урны бюллетень  $i$ -го избирателя и попросим его «еще раз подумать». Пусть он в своем предпочтении поменял местами двух кандидатов. Пересчитаем  $C_0(X)$  с учетом другого варианта его бюллетеня. Результат может чаще всего остаться прежним. Но если по этим двум кандидатам ситуация была неустойчива и одного голоса оказалось достаточно, чтобы изменить ее, то будет справедливо, чтобы в новом упорядочении изменение коснулось только этих кандидатов и не задело остальных;

г) для любой пары альтернатив возможны такие два множества индивидуальных предпочтений, при которых порядок этих альтернатив противоположен («условие суверенности»).

Такова часть «Если...» в теореме Эрроу. Часть «То...» гласит (из-за чего она получила название «Теоремы о невозможности»): указанные требования несовместны, т.е. не существует процедур голосования, удовлетворяющих всем этим требованиям.

Это стало большой неожиданностью (ведь требования кажутся такими естественными и необходимыми!) и вызвало бурные

дискуссии. Оказалось, что причиной такого результата являются упомянутые выше парадоксы, а на первое место вышел факт, что коллективный выбор может «застрять», закончиться непринятием решения, а единоличный, «диктаторский» выбор — никогда. Это привело к большому шуму вокруг теоремы о невозможности: «Наука доказывает слабость демократии», «Наука доказывает неизбежность диктатуры» и т.п. Ныне пыль осела (прошло много лет) и комментарии к теореме о невозможности можно сделать такие:

а) нравится это кому-то или нет — такова природа голосования (мне не понравилось, когда я упал и ушибся, но это не отменит закон тяготения);

б) теорема Эрроу — о голосовании, а не о демократии. Это разные вещи, и ее политическая интерпретация является подменной понятий;

в) непринятие решения приведет к потерям, а потери могут быть приемлемыми или нетерпимыми;

г) если потери допустимы, мы предпочитаем принимать решения коллективно, голосованием: это придает некий смысл нашей общественной деятельности;

д) если потери от непринятия решения нетерпимы, следует исключить саму возможность непринятия решения. Это можно сделать только одним способом — перейти к единоличному принятию решения, т.е. к диктаторской функции;

е) в самом по себе единоличном принятии решений нет ни плохого ни хорошего. Все зависит от конкретных условий. Например, отменить в армии принцип единоначалия — значит только ослабить боеспособность армии (что доказывает опыт Красной Армии, пока Жуков не добился от Сталина уже во время Отечественной войны отмены двоевластия командиров и комиссаров). Да и в обыденной жизни в коллективно неопределенной ситуации мы прибегаем к мнению авторитетов;

ж) обсуждение свойств процедур голосования не имеет никакого отношения к политике. Это лишь строгое логическое рассмотрение особенностей формул пересчета индивидуальных предпочтений в одно, называемое коллективным. А уж как использовать знание этих свойств в реальной жизни — это вопрос политики.

**Принятие решений в социальной системе.** До сих пор мы рассматривали принятие решений *аналитически*: есть множество альтернатив, из которых надо выделить одну, наиболее предпочтительную. И основное внимание уделялось внутренней, технической стороне дела: как надо делать такой выбор. Обнаружилось мно-

жество вариантов, и в каждой ситуации алгоритм принятия решений имел особенности, учитывающие специфику ситуации.

А теперь обратимся к *синтетическому* рассмотрению выбора, т.е. рассмотрим, каковы внешние условия принятия решений<sup>1</sup>.

Принятие решений — важнейшая функция в управленческой деятельности. Управление есть осуществление изменений в управляемой организации. А организация — это некоторая структура с распределением прав и обязанностей, власти и ответственности. Поэтому принятие решений в такой системе должно происходить с учетом того, каковы полномочия лица, принимающего решения. А эти полномочия определены его положением в организационной структуре. При этом приходится учитывать позицию лица, принимающего решения как в структуре своей организации, так и в структурах внешних систем, куда наша организация входит как часть.

Начнем с рассмотрения специфики принятия внутренних решений лицом, входящим в некоторую организацию. Диапазон его решений в определенной степени ограничен его должностной инструкцией. Но какие решения на каком уровне иерархии должны приниматься? Желательная цель — минимизировать вероятность принятия ошибочных решений. Подверженность ошибке — неизбежная особенность любого субъекта, на любом уровне управленческой иерархии. Отсюда следует вывод, что решение должно приниматься на том уровне, где сосредоточена максимальная информация о ситуации, требующей вмешательства. И это не обязательно уровень высшего руководства в организации, что и является основой необходимости делегирования властных полномочий на нижележащие уровни иерархии.

Такое перераспределение власти и ответственности может иметь разные формы. Например, нижестоящим предоставляется право вето на решения вышестоящих (продавец имеет больше информации о покупателях, чем директор магазина). Другой вариант реализован в авиакомпании SAS. Всем служащим, независимо от ранга, вменено в обязанность при получении просьбы, предложения или претензии от клиента, либо самим отреагировать соответственно, либо лично проследить, чтобы это было сделано должным образом соответствующей службой. Переκладывание ответственности на других запрещено.

---

<sup>1</sup> См. раздел «Анализ и синтез как методы построения моделей» в главе 3.



Итак, стоит задача передачи права принятия решений на те нижестоящие уровни, которые наиболее компетентны в проблемной ситуации. Руководитель обычно неохотно идет на отдачу части своих полномочий подчиненным. Убедить его пойти на это можно несколькими способами. Главный — показать, что организация будет функционировать лучше, если предоставить работникам больше свободы в принятии решений. Работники в больших организациях обычно отчуждены из-за того, что у них нет права голоса, они не влияют на принятие решений, оказываются в значительной мере подобны роботам.

Другой важной особенностью внутренней среды организации для принятия решений является образованность работников. Чем более образованы работники, тем менее эффективно властное управление ими. Наглядным примером служат университеты, значительная часть работников которых имеют ученые степени. И никакой ректор не управляет университетом, решая, что и как должно преподаваться, как оцениваться, какие книги должны использоваться. Все важные для учебного процесса решения принимаются на нижних уровнях иерархии.

Еще один способ побудить высших руководителей делегировать полномочия подчиненным — ознакомить их с проблемами самого нижнего уровня, — пользователей. Руководители часто полагают, что их власть проявляется в том, чтобы выглядеть всезнающими и возвышенными; что общение с нижестоящими снижает их авторитет и статус; они часто и не желают знать, что происходит в самом низу. Полезный совет состоит в том, чтобы руководитель транспортной компании иногда ездил вместе с обычными пассажирами, директор магазина сам делал покупки в нем, и т.п. Например, самый долгодействующий ректор Томского университета, проф. Александр Петрович Бычков, лично посещал лекции всех профессоров, на всех факультетах ТГУ, хотя бы по одному разу.

Подытоживая тему принятия внутренних решений в организации, можно сказать, что современная тенденция развития менеджмента идет в направлении децентрализации управления, в переходе от административно-командного стиля руководства к партисипативному, соучастному, демократическому управлению. Хотя диктаторский стиль управления не исключается (например, в условиях войны, чрезвычайных ситуаций и т.п.).

Обратимся теперь к проблемам принятия решений, связанных с необходимостью взаимодействий с внешними управленческими структурами. Если внутренние проблемы связаны с оптимизацией

распределения прав и обязанностей между подчиненными, что находится во власти менеджера, то отношения с внешними структурами чаще всего сводятся к испрашиванию решений вышестоящих руководителей по вопросам, существенным для нижестоящей организации.

Взаимодействия с социальными системами бывают двух типов: либо они дают нам возможность сделать или получить что-то, чего без их содействия мы не можем иметь, либо они предотвращают такую возможность. Иными словами, системы, с которыми мы взаимодействуем, расширяют или сокращают число наших допустимых действий: либо позволяют, либо запрещают что-то сделать. Хотя существуют системы, функционирование которых носит преимущественно ограничительный характер (напр., тюрьма) или преимущественно расширительный (напр., библиотека), но многие совмещают эти функции (напр., школы, правительственные учреждения). Если некоторая система ориентирована на запреты, ее называют *бюрократической*.

Р. Акофф определил бюрократа как имеющего право сказать «нет», но не могущего сказать «да». Две причины есть для этого. Первая состоит в том, что в бюрократии «нет» не ведет к тому, что считается ошибкой, только «да» может сделать это. Поэтому лучшая стратегия, чтобы не совершить явных ошибок, — это отвергать предложения, не позволяя что-либо сделать. Бюрократ не может сказать «да», так как для этого он должен переадресовать запрос вышестоящему, чтобы не рисковать его неодобрением. Но это значит — признать ограниченность своей важности.

Вторая особенность бюрократии — установление единых нерушимых правил и ограничений, не допускающих исключений. Таким образом, бюрократы часто заняты тем, чтобы не давать другим что-то сделать. Они точно говорят, что следует делать, лишая исполнителя выбора, всякой инициативы. Нарушение инструкции — тяжкий грех; внимание и сочувствие к просителю — чужды бюрократу (так как повышает риск ошибки и последующего наказания)<sup>1</sup>.

**Выводы.** Мы рассмотрели лишь несколько задач теории выбора. Критерием отбора была их частая встречаемость в практике и предстоящее использование результатов в изложении технологии решения проблем. Читатель должен знать то, что они составляют лишь незначительную часть всех вариантов практики принятия решения, неполный список которых был порожден морфологиче-

<sup>1</sup> См.: Акофф Р.Л. Акофф о менеджменте. СПб.: Питер, 2002. Глава 5.

ским анализом, проведенным в начале описания данного этапа. Например, столкнувшись с необходимостью выбора в условиях неопределенности, следует идентифицировать ее тип и обратиться либо к теории игр (при неопределенности незнания), либо к теории статистических решений (при стохастической неопределенности), либо к теории нечетких множеств (при расплывчатой неопределенности). При отсутствии неопределенности последствий сделанного выбора задачи решаются методами оптимизации. По каждому из этих вариантов имеется обширная научная и учебная литература. Краткий обзор содержащихся в них идей и библиография есть в книге Ф.И. Перегудова и Ф.П. Тарасенко<sup>1</sup>.

#### **Контрольные вопросы и задания**

1. Дайте определение «выбора».
2. Почему нереально создать универсальную теорию выбора?
3. Как правильно решать многокритериальные задачи?
4. Что такое «паретовское множество»?
5. Каковы трудности выбора на основе парных сравнений?
6. Перечислите семь парадоксов голосования.
7. Каковы особенности принятия решений с учетом окружающей социальной среды?

#### **5.12. Этап двенадцатый.**

##### **Реализация улучшающего вмешательства**

После принятия решения о том, какое именно из улучшающих вмешательств следует осуществить (это итог предыдущего этапа), предстоит работа по реализации этого решения (это задача данного этапа). Но между принятием решения и его реализацией, как говорят, «дистанция огромного размера». Эта дистанция преодолевается планированием необходимых действий и их исполнением при слежении за ходом событий и внесении поправок в необходимых случаях.

Планирование конечных результатов было осуществлено на этапе 6 («Целевыявление»). Планирование способов ликвидации разрывов между целями и проблемным месивом было осуществлено на этапе 10 («Генерирование альтернатив»). Выбор вмешательства, подлежащего осуществлению, был сделан на этапе 11 («Принятие решения»). Теперь наступило время для плани-

<sup>1</sup> Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Основы системного анализа. 3-е изд., испр. и доп. Томск: НТЛ, 2001.

рования ресурсов, требующихся для реализации спроектированного вмешательства. На этой фазе планирования для каждого вида ресурса должно быть определено:

- 1) сколько его потребуется, где и когда;
- 2) сколько его будет в наличии в назначенных месте и времени;
- 3) что должно делаться в случае его нехватки или избытка. Должны быть рассмотрены все виды ресурсов:
  - 1) люди с их компетенциями и квалификацией;
  - 2) здания и оборудование (капитальные затраты);
  - 3) материалы по видам и объемам запасов, энергия (расходуемые вещи);
  - 4) деньги;
  - 5) информация;
  - 6) время.

Следующая фаза в реализации вмешательства — организация исполнения решения. Это действие по сути является актом *управления*. В соответствии со сложившейся ситуацией применяется один из семи типов управления, описанных в главе 4, или их подходящая комбинация в нужной последовательности. Обычно после реструктуризации (4-й тип) применяется регулирование (3-й тип) или преодоление сложности (2-й тип). В любом случае потребуется мониторинг текущего состояния дел, определение предположений и рисков (функция *контроля*). Кроме того, для обеспечения адаптивности к предстоящим переменам внутри и вовне системы требуется создать подсистему обнаружения и исправления ошибок в ожиданиях и предположениях (функция *обучения*).

**Определение предположений и рисков.** Как бы хорошо ни был спланирован и подготовлен проект, реальные события не всегда происходят в соответствии с планом. Многие внешние факторы могут повлиять на ход осуществления проекта и при этом лежат вне нашего контроля. Поэтому необходимо включить это в перечень наших предположений.

Поэтапное продвижение по цепочке от постановки проблемы до ее решения происходит через верификацию предположений, встроенных в каждый этап: переход к следующему этапу осуществляется, только если предыдущий считается успешно выполненным.

Одна из ролей системного аналитика состоит в идентификации таких внешних факторов и в том, чтобы по возможности встроить в проект либо противодействие им, либо осуществле-

ние отслеживания их влияния. Поэтому необходимо оценить вероятность и значение возможных обстоятельств, внося тем самым вклад в оценку рискованности проекта. Некоторые из них будут существенными для успеха проекта, другие — малозначимыми. Можно предложить алгоритм работы с предположениями (рис. 5.30).

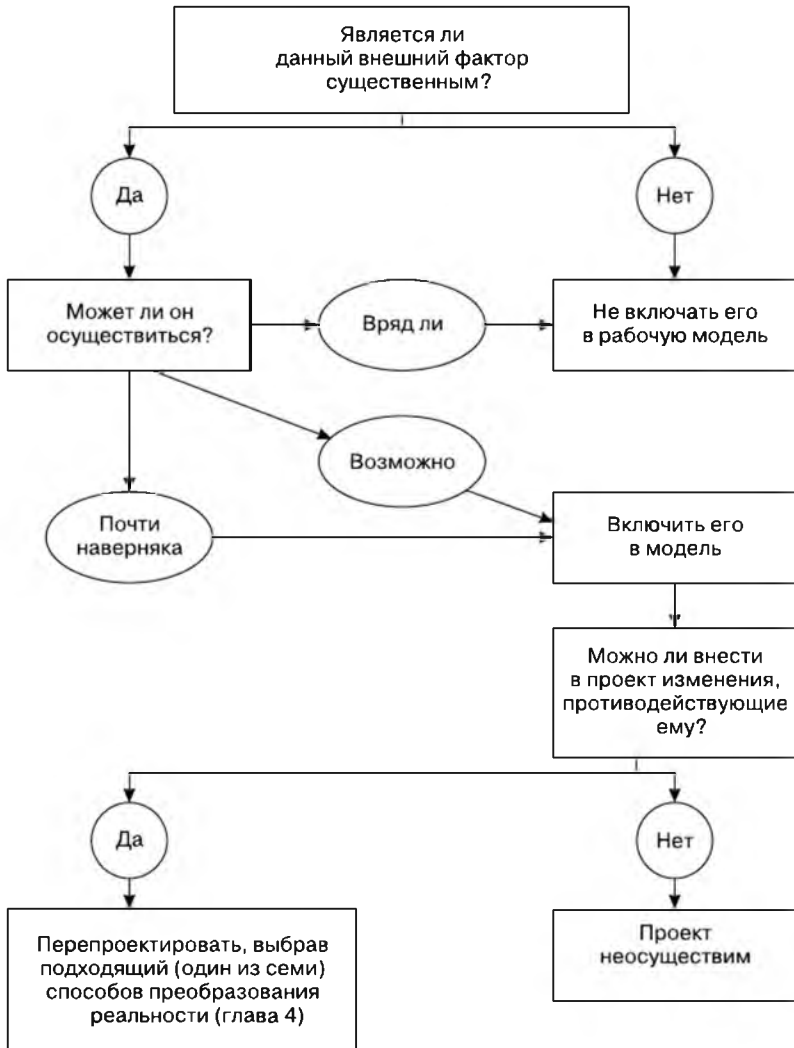


Рис. 5.30

Для наглядности приведем примеры возможных предположений в случае решения социальной проблемы:

- местные организации будут сотрудничать в планировании нашей работы;
- нужные кадры определены и наняты — местные и приглашенные;
- отправленные на учебу кадры вернулись для участия в проекте;
- в бюджет внесены необходимые поправки;
- руководящие органы выполнили предварительные условия спонсоров проекта.

В целом этот этап — менеджмент.

Практика показывает, что дистанцию от принятия решения до его реализации далеко не всегда удается пройти успешно. Естественны старания собрать и обобщить опыт успехов и неудач в достижении поставленных целей. Эти старания привели к образованию целой дисциплины, современному учению *о менеджменте*.

Близость менеджмента к системному анализу сегодня так велика, что автор вот уже ряд лет читает в Томском госуниверситете лекции по менеджменту (после курса прикладного системного анализа), пропагандируя взгляд на менеджмент как на приложение системного анализа к проблемам управления людьми в организации, а на менеджера — как на «системного аналитика с постоянным местом работы».

Не станем описывать (даже в сокращенном виде) все практические открытия, эвристические догадки и теоретические построения, составляющие достижения современного менеджмента. Они изложены в многочисленных учебниках по этому предмету. Вместо этого обратим внимание на то, что в технологии самого системного анализа встроены меры, способствующие успеху заключительного этапа. Эти меры распределены по всем этапам прикладного системного анализа, но нацелены на обеспечение успешной реализации принятого решения на последнем этапе.

Ключевым моментом, сутью всей идеологии прикладного системного анализа является стремление к идеалу *улучшающего вмешательства*. Это и ведет к необходимости на каждом этапе анализа осуществлять специальные меры, последствия которых скажутся положительно на последнем этапе.

Первой такой мерой является **необходимость участия стэйкхолдеров**. На этапах выявления проблемного и целевого месива

мы уже говорили о необходимости вовлечения в анализ самих стэйкхолдеров (или их лучших представителей). Тогда мы объясняли это тем, что только они являются источником полной и надежной информации об их собственных мнениях и интересах и что эта информация необходима для построения адекватных моделей, на которых будет базироваться улучшающее вмешательство. Это, конечно, важная, но не единственная, и даже не главная причина. Есть еще два не менее важных основания для этого.

Одно из них — встроенность в процедуру прикладного системного анализа *обучения* стэйкхолдеров системному анализу. Системный аналитик в корне отличается от эксперта-консультанта. Последний, столкнувшись с проблемой клиента, видит свою задачу в том, чтобы собрать симптомы, поставить диагноз и выписать рецепт, как врач пациенту. Системный аналитик видит свою задачу не только в том, чтобы вызнать у стэйкхолдеров нужную информацию (аналитик знает, какие вопросы задавать, а ответы на них знают только стэйкхолдеры), но и в том, чтобы путем поощрения и создания подходящих условий сделать других способными справляться со своими проблемами более успешно, чем это они могли сами без его помощи. Системный аналитик больше похож на учителя, чем на врача.

Учитель не может учиться вместо своих учеников: ученики должны учиться сами. Задача учителя — предоставить учащимся возможность изучить больше и быстрее, чем это они могут без его помощи. При этом участие стэйкхолдеров в самом процессе анализа реализует наиболее эффективный способ обучения: не «на слух» и не «наблюдая», а «делая сам». Таким образом, прикладной системный анализ — это прежде всего развивающий образовательный процесс (и не только для стэйкхолдеров, но и для самого аналитика).

Но поскольку для развития необходимо обучение, а учиться вместо других невозможно, то и развивать других невозможно. Единственный путь развития — это саморазвитие. Можно оказать поддержку и помощь развитию других, но только при их участии. В этом-то и состоит причина необходимости вовлечения стэйкхолдеров в процесс системного анализа их же собственного проблемного месива. Трудности добиться этого — не повод для того, чтобы не делать этого.

Другое важное основание для этого — тот факт, что практически осуществлять спроектированное улучшающее вмеша-

тельство будет не системный аналитик, а сами стэйкхолдеры: именно в их распоряжении находятся необходимые ресурсы, властные полномочия, кадры, финансы и т.д.

При осуществлении планов неизбежно появятся разнообразные трудности, столкнувшись с которыми, одни опускают руки («объективные препятствия сильнее нас»), другие всячески стараются преодолеть или обойти их. И решающим фактором здесь часто оказывается то, чье решение (чужое или свое) должен выполнить человек: он более настойчив, упорен, активен в осуществлении своих собственных целей. («Кто хочет добиться цели — ищет средства и способы, кто не хочет — ищет причины» — известный афоризм в среде руководителей.) Именно поэтому так важно добиться того, чтобы те, кому придется воплощать в жизнь проект улучшающего вмешательства, хотели бы этого. Надо, чтобы они чувствовали себя авторами или соавторами проекта, т.е. были участниками его разработки.

Особенно важно сделать участниками анализа и действительными разработчиками, авторами проекта вмешательства *первых лиц проблемосодержащей и проблеморазрешающей систем*. Это настолько важно, что при невозможности вовлечь этих руководителей в работу над проблемой шансы на конечный успех резко снижаются (Р. Акофф даже считает, что они падают до нуля, и рекомендует отказаться от заключения контракта).

Следующей мерой повышения вероятности успеха является **обеспечение добровольности участия**. Даже если удастся собрать стэйкхолдеров (или их представителей) для участия в разработке способа решить проблему (улучшающего вмешательства), это еще не гарантирует их активной и эффективной работы. Много факторов влияет на то, насколько полно стремится человек реализовать свои возможности в работе над поисками решения. Р. Акофф считает, что самым существенным фактором является *добровольность* участия субъекта в совместных усилиях (если участие не является добровольным, оно не может быть эффективным).

Как лучше всего достичь добровольного участия стэйкхолдеров? Осмыслив опыт своей богатой практики системного аналитика — решателя проблем, Р. Акофф отмечает, что они тем охотнее участвуют в усилиях по разработке улучшающего вмешательства, чем более они уверены в выполнении трех условий:

- 1) их участие действительно будет влиять на полученные результаты;



- 2) участие будет интересным и приятным делом;
- 3) полученные результаты действительно будут внедрены.

Кратко поясним, на чем основаны эти условия и как их можно выполнить.

Как создать уверенность, что участие будет что-то значить? Наиболее полно это условие реализуется, если каждый из участников будет чувствовать себя равноправным в принятии решений. Например, если решения принимаются большинством голосов и таким большинством обладает одна из заинтересованных сторон, то остальные стороны вряд ли будут участвовать в работе добровольно. Укрепить уверенность в реальном влиянии на ход дискуссии можно гарантией, что мнение каждого обязательно будет учтено. Такую гарантию обеспечивает принятие решений в ходе анализа *только единогласно*.

Как сделать участие удовольствием? Есть несколько способов сделать это: поощрение юмора и доброжелательной атмосферы, введение развлекательных элементов в работу, придание серьезной работе формы игры, а главное — побуждение к воображению и творчеству, которые сами по себе возбуждающи и приятны. Характерные примеры — мозговой штурм и идеализированное проектирование (описанные нами ранее), вызывающие глубокое чувство соавторства.

Как представить внедрение реализуемым? Одним из главных условий повышения уверенности стейкхолдеров в том, что они работают не «на полку», — участие первых лиц систем, вовлеченных в проблемную ситуацию, прежде всего проблемосодержащей и проблеморазрешающей систем. Иногда добиться этого бывает нетрудно, но часто требует серьезных усилий.

Вероятность того, что эти лица впоследствии будут активно бороться за реализацию принятых решений, повышается, если работе сопутствуют некоторые обстоятельства.

Например, Р. Акофф отмечает, что внедрение более вероятно, если за разработку рекомендаций было уплачено («похоже, что люди не очень ценят то, что достается бесплатно»). Даже в случаях, когда достойный клиент не в состоянии оплатить нужные ему исследования, выход состоит в поиске спонсоров (различные фонды, государственные и муниципальные власти, жертвователи, меценаты и т.д.).

Далее, большое значение для обеспечения участия первого лица имеет интерес его окружения (как его руководителей, так и подчиненных и других лиц, чье мнение для него значимо)

к факту его участия. Здесь могут помочь усилия по информированию общественности, различные PR-технологии.

Особо важное значение Р. Акофф придает отношениям доверия между руководителем и системным аналитиком, он даже считает такое доверие абсолютно необходимым для внедрения результатов.

Руководителю организации, вовлеченной в системный анализ, необходима уверенность в том, что и он сам лично, и его организация выиграют от внедрения результатов исследования. Словесных заверений о разработке улучшающего вмешательства недостаточно, нужно доверие к системному аналитику, подобное тому, которое испытывают к друзьям. Высшая степень доверия есть дружба. Мы верим, что друг будет действовать в наших лучших интересах, даже если при этом он может сам как-то пострадать. Поэтому совету друзей, как бы плох он ни был, человек последует скорее, чем совету врагов, как бы хорош он ни был. Дружественные отношения с аналитиком обеспечивают руководителю ощущение собственной защищенности.

Есть несколько приемов, способствующих созданию если не дружественной, то доверительной атмосферы между ними.

В контракт на работу включается условие, что любая сторона имеет право прекратить работу в любое время без объяснения причины. Это дает руководителю гарантию, что если в ходе работы возникает опасение, что ее продолжение может повредить его интересам, он может это предотвратить. (Р. Акофф отмечает, что в его практике этот пункт никем никогда не использовался, но имел важное психологическое значение. Мои попытки ввести такой пункт в контракт с российскими клиентами кончались тем, что руководитель настаивал на декларируемом праве только для себя.)

Системный аналитик берется обучить работников исследуемой организации умению в дальнейшем самим проводить системный анализ. Это повышает жизнеспособность организации и положительно воспринимается руководителем.

Системный аналитик не только не ждет и не требует признания своих заслуг в достигаемых успехах, наоборот, он всячески подчеркивает заслуги других участников (что, кстати, немало способствует росту его авторитета).

Системный аналитик открыто провозглашает и твердо соблюдает требования к своей профессиональной деятельности (гарантия доступа к любой необходимой информации — с обя-

зательством соблюдения конфиденциальности; гарантия доступа к руководителям организаций, вовлеченных в проблемную ситуацию; гарантии научной и деловой добросовестности; соблюдение профессиональных, моральных и этических норм).

Системный аналитик должен открыто и искренне проявлять уважение к интеллекту руководителя (разумеется, речь не идет о подхалимаже).

Еще одной мерой повышения вероятности успеха преобразования организации с помощью системного анализа является **учет особенностей человеческих сущностей**. Главным отличием социальных и социотехнических систем от других природных и искусственных систем является вхождение в них людей как самых существенных компонентов. Люди обладают многими свойствами, присущими только субъектам, в отличие от остальных объектов реального мира, прежде всего — способностью оценивать свои взаимодействия с окружающей средой, и при этом иногда ошибаться. При решении проблем организаций приходится сталкиваться с этими особенностями и принимать меры к преодолению их негативного влияния на проектирование и осуществление улучшающих вмешательств.

Таких особенностей несколько, и они таковы, что Дж.Уорфилд<sup>1</sup> даже называет их *патологиями*. Следует различать такие особенности для разных человеческих сущностей — для отдельного индивида, для группы из нескольких человек и для коллектива работников некоторой организации, который по численности превышает то, что мы обычно называем «группой». Патологии индивида могут влиять на поведение группы, патологии группы могут влиять на поведение индивида. И все они вместе или по отдельности могут сказаться на результативности усилий по преобразованию организации, на успешности решения проблем.

Предлагается в ходе работы по системному преобразованию организации действовать с учетом следующих патологий.

**Индивидуальные особенности.** *Инстинкт самосохранения.* (Instinct for Survival). Присущий каждому живому существу, он в различных формах сказывается на поведении индивида в группе или организации. Представляется, что этот инстинкт может блокироваться, если индивид верит в то, что все дела, в которых он участвует, могут адекватно исполняться только общими усилиями. При отсутствии такой веры, инстинкт самосохранения про-

<sup>1</sup> См.: Warfield J.N. Introduction to Systems Science. Singapore: World Scientific, 2006.

является в любых действиях индивида. Например, типичным проявлением этого инстинкта менеджерами является боязнь риска в принятии решения. Для действительно трудных проблем не существует единственно верного решения. Менеджеры предпочитают ситуации с одним правильным решением, так как это снижает риск совершить ошибку. По ходу дел может выясниться, что не все получается так, как хотелось. Значит, принятое решение было ошибочным. Но многие менеджеры не желают, не могут признать этого. Они ищут виноватых вокруг себя. А ведь очень ценным является признание своей ошибки и смены курса в решении проблемы. Ошибки являются не неудачами, а источником обучения и развития.

*Предел внимания* (Processing Limit, «магическое число»). Установлено, что человек может удерживать в поле своего внимания одновременно лишь небольшое число идей или объектов. Это магическое число разные авторы определяют по-разному: «семь плюс-минус два», «скорее пять, чем семь», и оценивают даже «только три». Главным отличием гениальных личностей называют способность одновременно оперировать с девятью-одинадцатью идеями. В любом случае способность человека оперировать с многими объектами ограничена их небольшим количеством. И это существенно определяет возможные масштабы разнообразных действий человека (количество подчиненных менеджера; размерность моделей, удобных в работе; и т.д.).

*Групповые особенности. Кланомыслие* (Clanthink). Этим термином обозначается ситуация, когда все члены группы верят в одно и то же ложное утверждение. Историческими примерами являются прошлые периоды, когда все считали, что Земля плоская, и что кровопускание является универсальным лечебным средством; или что Солнце обращается вокруг Земли. Единственным способом преодолеть кланомыслие является создание условий, при которых группа на собственном опыте убедится в неверности общепринятого мнения.

*Группомыслие* (Groupthink). Это действительно патологическое состояние группы, при котором ее члены придерживаются общего мнения несмотря на очевидные и общеизвестные факты, явно ему противоречащие. Группомыслие проявляется в следующих формах:

— члены группы испытывают сильный дискомфорт, если некий диссидент высказывает возражения против общего мнения;

— давление группы лишает индивида самостоятельности мышления, побуждает его к единомыслию; критическое мышление подавляется;

— нормой поведения является демонстрация лояльности даже при очевидной неверности политики и нежелательности ее последствий, несмотря на угрозы совести;

— двойная мораль: разное отношение к «нашим» и «чужим»; гуманное и благородное отношение к нашим, и иррациональная жестокость к чужим, игнорирование этики и морали при достижении цели (пример — атомные бомбардировки японских городов американцами);

— добровольный отказ от своих сомнений во имя консенсуса;

— иллюзия собственной неуязвимости, «сверхоптимизм», несмотря на цепь неудач и провалов (примеры — действие Кеннеди в Заливе Свиней, Джонсона во Вьетнаме, НАСА — в истории с катастрофой «Челленджера»);

— иллюзия единодушия («Молчание — знак согласия»); консенсус считается доказательством правильности.

Главным средством преодоления группомыслия является создание условий для выражения разных мнений, поощрение критики, открытость для информации с нижних уровней организации и извне, включая сигналы от соперников и противников, и учет всей этой информации для принятия решений.

*Разномыслие (Spreadthink).* Это факт различия оценок членами группы одной и той же проблемной ситуации. Он в явной форме тщательно исследуется в ходе формирования проблемного мессива.

*Недомыслие.* Любая группа, собравшаяся совместно достичь цели, может делать это эффективным и продуктивным способом либо пойти трудным, медленным путем к незначительным результатам. Последнее является патологией.

Наглядным примером этого служит деятельность многих комиссий (комитетов), создаваемых для рассмотрения некоторой проблемы. Ряд обстоятельств (намеренных и неосознаваемых, внутренних и внешних для комиссии) часто приводит к тому, что результаты работы комиссии ничтожны. Р. Акофф по этому поводу вполне серьезно шутит: «Объем полезных результатов, вырабатываемых комитетом, убывает по мере увеличения самого комитета. Следовательно, оптимальное число членов комитета равно нулю. <...> Функция комитетов состоит не в том, чтобы

принимать решения, а чтобы оттянуть их принятие достаточно надолго, пока обсуждаемый вопрос не отпадет сам собой. <...> Комитет ценится тем выше, чем больше времени и денег ему требуется для того, чтобы не прийти ни к какому заключению, и чем объемнее отчет о том, как они к этому пришли». Мету борьбы с этой патологией Р. Акофф видит в том, чтобы тот, кто проводит заседания комитета, сам оплачивал время тех, кто присутствует на них. Хотя бывает и так, что комиссия создается специально для оттягивания решения.

**Особенности организаций.** В результате того, что в организациях устанавливаются структуры подчиненности иерархического типа, в них возникают и дополнительные к личным и групповым, специфические «патологии», которые необходимо преодолевать при системном преобразовании организации.

Патологии в иерархии возникают по двум причинам.

Первая заключается в том, что вышестоящие в иерархии менеджеры испытывают чувство превосходства по отношению к нижестоящим работникам. Это чувство приводит к недооцениванию или даже отвержению любых улучшающих предложений со стороны подчиненных. Меры по преодолению этой патологии видятся во введении в воспитание, образование, подготовку руководителей — привития им способности поддерживать любые действия подчиненных, повышающие эффективность их работы. По мере усложнения ситуации наступает время осуществления перемен. В том числе — перемен в деятельности самых малых групп в организации, о которых высшие слои руководства часто вообще не задумываются. Такая ситуация нуждается в менеджерах (собственных или привлекаемых извне), которые знают, как преодолевать сложность с помощью эффективных соучастных, партисипативных методик, противодействуя персональным и групповым патологиям.

В частности, необходимо воспитать у руководителей чувство *восприимчивости к инновационным предложениям подчиненных.*

Вторая причина возникновения патологий в иерархии состоит в том, что и сами нижестоящие испытывают чувство приниженности, зависимости от вышестоящих. Например, во время совещания его участники почти всегда ждут, пока не выскажется главный руководитель. После этого выступающие стараются не слишком противоречить сказанному. Из-за этого не рассматриваются конкурентоспособные альтернативы. Противодействие этому может состоять в предоставлении слова руководителю

в конце дискуссии, и не для принятия решения, а для внесения дополнительных вариантов для последующего обсуждения всех предложений.

Итак, причины организационных патологий в иерархии лежат в том, что со стороны верхов — это боязнь утратить контроль, а со стороны низов — боязнь сделать что-нибудь не так. Результат: неэффективность, удушение творчества.

Противоядие — движение в сторону партисипативного менеджмента: «Чего мы хотим добиться?», «Чем мы можем помочь друг другу?»

Практика показывает, что обе эти патологии преодолимы методом системного анализа, кроме одной — высокомерия и неприятия со стороны высшего руководства. Единственный способ исправить такую ситуацию — замена руководителей людьми, осознающими роль патологий, в том числе и собственных.

Еще один тип организационных патологий связан с тем, как в организации относятся к ошибкам исполнителей.

Сделать что-то правильно — значит лишь подтвердить то, что уже известно; на этом нельзя научиться. А вот на совершаемых ошибках можно учиться, если их признавать и исправлять. Но в большинстве организаций совершение ошибок не одобряется и даже наказывается. Это блокирует развитие.

Есть два типа ошибок. *Ошибки совершения* состоят в том, чтобы сделать то, чего не следовало делать. *Ошибки несовершения* состоят в том, чтобы не делать того, что должно было быть сделано.

Ошибки несовершения более серьезны, чем ошибки совершения, потому что (кроме других причин) их часто невозможно или очень трудно исправить. Это утраченные возможности, которые уже никогда не удастся возвратить. И организации чаще терпят крах от того, что они чего-то не сделали, нежели от того, что они сделали (пример — компартия СССР).

Тем не менее ошибки несовершения редко фиксируются и еще реже наказываются. Поэтому исполнителей наказывают за совершение чего-то, чего не следовало делать, но они не несут ответственности за то, что они не сделали того, что надо было сделать. Поскольку наказываются только ошибки совершения, оптимальной стратегией менеджера, стремящегося к собственной безопасности, является избавление от них, вплоть до ничегонеделания. Наиболее успешные руководители — те, кто создает видимость бурной деятельности, не делая ничего. В этом-то и заложены корни несклонности организации к переменам.

**Осуществление перемен вовне требует перемен в самом себе.** Начиная с третьей главы, мы неоднократно подчеркивали, что любая деятельность субъекта осуществляется с помощью подходящих моделей, обеспечивающих данную деятельность необходимой информацией. Нужные в данный момент модели извлекаются из совокупности врожденных и приобретенных субъектом моделей, образующих его «мир моделей», «культуру» субъекта. Таким образом, успешность деятельности, качество полученного результата существенно зависят от культуры субъекта. Это, конечно, относится и к управленческой деятельности, в том числе и к решению проблем, т.е. к вмешательству в реальность и к изменению поведения людей, вовлеченных в проблемную ситуацию.

Изменение поведения субъекта оказывается трудным делом, даже для субъекта-индивида, даже если такое изменение является для него вопросом жизни или смерти. Например, исследования обнаружили, что после операции по шунтированию сосудов сердца лишь 12% пациентов меняют свои привычки на более здоровый образ жизни, снижая вес и занимаясь физкультурой. А что же тогда говорить о трудностях изменения поведения субъекта-организации, состоящей из множества индивидов!

Продвижение в этом вопросе дали изыскания в области психологии людей, исследования выявили психические особенности субъектов, побуждающие их сопротивляться одним формам управленческих воздействий со стороны руководителя и подчиняться другим. Выводы можно сформулировать следующим образом<sup>1</sup>.

*Перемены болезненны.* Почему люди так упорно сопротивляются переменам, даже если они делаются в их собственных интересах? Одна из причин состоит в том, что изменения требуются не только в окружающей среде, но и в системе моделей индивида (т.е. в его культуре).

После достаточно длительной практики вождения автомобиля, люди начинают водить «не думая»: новые модели, обеспечивающие это, спускаются на подсознательный уровень организации действий. Оказавшись в стране с левосторонним движением, человек вдруг испытывает серьезные трудности вождения машины. Некоторые даже отказываются садиться за руль в чужой стране. Похожая ситуация возникает при переходе от управления машиной с автоматической коробкой скоростей на ручное управление.

---

<sup>1</sup> См.: *Rock D., Schwartz J. The neuroscience of Leadership, Strategy + Business* (www.bah.com) Reprint № 06207, 2007.



И такая же стрессовая ситуация возникает при любых стратегических или организационных изменениях: возникает необходимость перехода от привычных, отработанных рабочих процедур взаимодействия работников, к новым, непривычным, требующим усиленного напряжения ума. В результате чисто животного инстинкта, вызывающего тревогу при расхождении ожиданий и реальности, многие люди испытывают при этом стресс и дискомфорт разной силы и — делают все, чтобы избежать перемен. Руководители, осуществляющие перемены в организации, должны учитывать, что одни и те же события по-разному воспринимаются людьми на разных уровнях организационной иерархии, т.е. они испытывают разные стрессы на данное изменение.

*Бихевиоризм не всегда срабатывает.* Открытые Павловым на собаках условные рефлексы были в 1930-х годах обобщены Б. Скиннером на людей в форме бихевиоризма — теории управления организацией на основе поощрений и наказаний («кнута и пряника», «морковки и палки»). Такая методика широко распространена как в рутинной практике руководства, так и при осуществлении обновляющих преобразований. Однако психологи обнаружили, что сигналы, предназначенные для возбуждения нужного отклика через условный рефлекс, применительно к людям срабатывают не всегда однозначно. Например, менеджер может делать выговоры тем, кто всегда опаздывает к началу заседаний. Это может пристыдить их и иметь временный эффект, но при этом переключает их внимание с сути дела на проблемы, вызывающие запаздывания. Другой менеджер может предпочесть вознаграждать в какой-то форме тех, кто появляется вовремя. Но при этом опаздывающие испытывают неприятные тревожные эмоции, не способствующие делу.

*Гуманизм переоценивается.* В 1950-1960-х годах большой приоритет в психологии приобрели гуманистические тенденции, фокусирующие внимание на личности, эмоциональные потребности и ценности. Эта психология предписывала оказание помощи в реализации личного потенциала через самоактуализацию, проявление скрытых возможностей и устремлений. От практики поощрений и наказаний перешли к сочувствию, соучастию, проникновению в личные проблемы субъектов и переходу к практике холистических решений проблем. Это осуществляется путем создания в группе доверительных отношений и взаимопонимания, осознания необходимости и ценности изменений.

Инстинктивное стремление всех живых организмов к сохранению равновесия и уклонение от перемен (гомеостазис) — одна из причин сопротивления любым изменениям. Эффективный способ преодолеть такое сопротивление — вовлечение стейкхолдеров в проектирование изменений для самих себя, организация этого процесса системным аналитиком с помощью специальных технических приемов (facilitating), помогающих участникам самим вырабатывать свои решения.

Решающим в этом является концентрация внимания на ожидании перемен и поощрительной обратной связи. Примером того, как ожидания создают реальность, может служить эффект плацебо: заверьте пациента, что он принял болеутоляющее средство, и он на самом деле почувствует облегчение, хотя пилюля была совершенно нейтральна. Главное заключается в том, чтобы переключить внимание с проблемы на ее решение, побудить людей самим искать это решение, сконцентрировать их внимание на творческой стороне этих поисков. Методика идеализированного проектирования Р. Акоффа является наиболее последовательной реализацией этих идей.

**Роль этики в системном анализе.** Изложенное выше в данном параграфе частично является вольным пересказом «теории системной практики» Р. Акоффа, выдающегося американского системного аналитика, эмеритус профессора Пенсильванского университета.

Представляется интересным упомянуть еще один раздел теории практики Р. Акоффа, посвященный вопросам этики, морали и нравственности — категориям, неизбежным в любой деятельности и в системном анализе тоже.

С одной стороны, системные исследования имеют много общего с «обычными» научными исследованиями. Исполнитель должен быть добросовестным, честным, объективным, преданным истине, требовательным к своей компетентности, соблюдать нормы общения с коллегами по профессии. С другой стороны, в системном анализе, кроме истин фактических («объективных», «научных»), необходимо учитывать много субъективных факторов: персональные человеческие ценности, психологические аспекты отношений между людьми, индивидуальные оценки реальности и т.д. Эти факторы слабо изучены, далеки от строгой формализации, чрезвычайно специфичны для каждого человека, что заметно усиливает значение этических аспектов в поведении системного аналитика.

Например, одна из опасностей («ловушек») в системном анализе состоит в навязывании системным аналитиком своего мнения стэйкхолдерам, в том числе и лицу, принимающему решения. Этика поведения системного аналитика состоит в том, чтобы не быть «серым кардиналом», т.е.:

- не скрывать альтернатив, которые почему-либо не нравятся ему самому; доводить и такие альтернативы до сведения лица, принимающего решения;

- то же самое относительно альтернатив, которые возможно или даже заведомо не понравятся лицу, принимающему решения;

- явно сообщать предположения, лежащие в основе полученных заключений;

- обращать внимание лица, принимающего решения, на устойчивость или чувствительность альтернатив к изменениям условий.

Особый вопрос — неизбежность компромиссов и пределы их допустимости. Идея улучшающего вмешательства может быть выражена и в такой форме: целью является не поиск истины, не выяснение, кто прав, а кто не прав; целью является достижение согласия между всеми.

Реализация улучшающего вмешательства неизбежно требует поиска компромиссов. Простым примером может служить случай, когда заказчик настаивает на включении в рабочую модель детали, которую он считает существенной, а аналитик имеет противоположное мнение. Для создания благоприятной психологической атмосферы аналитик должен согласиться с клиентом, хотя при этом, возможно, совершается ошибка первого рода.

Однако компромиссы далеко не всегда столь безболезненны и столь позволительны. Системный аналитик оказывается перед этическим выбором, когда его принципы противоречат принципам заказчика. Некоторые этические правила для системного аналитика в такой ситуации были предложены Дрором:

- не работать на клиента, не дающего доступа к нужной информации;

- не выполнять анализ только для обоснования уже принятого решения;

- не работать на клиента, чьи цели и ценности противоречат гуманистическим ценностям и собственным убеждениям аналитика.

Категоричность этих правил в реальности иногда наталкивается на так называемые «сложности жизни». Этика — вообще дело не принудительное, а добровольное.

Например, известный кибернетик С. Бир выполнял системные исследования проблем управления экономикой Чили по заказу правительства Альенде, но отказался работать по приглашению Пиночета, хотя ему после этого пришлось принять меры личной безопасности.

Однако на одной международной конференции по системному анализу было высказано мнение, что не стоит абсолютизировать такую бескомпромиссность. Аргумент был таков: заказчик заведомо знает, что его и ваши этические установки противоречивы. Обращаясь к вам, он тем самым проявляет готовность в чем-то изменить свои установки. Почему бы не использовать возможность улучшения этики клиента? «Представьте себе, что священники отказались бы иметь дело с грешниками; тогда церкви было бы нечего делать». Докладчик привел пример решения проблемы рэкета мелких лавочников путем найма ими охранников из числа рэкетиров.

Конечно, мои симпатии на стороне С. Бира, а не тех, кто предложил привлечь самих бандитов к решению проблемы рэкета. Но как я поступлю, если ко мне придут преступники и предложат выбор: либо я помогаю им решить их проблему за большое вознаграждение, либо они начнут терроризировать мою семью? Молю Бога, чтобы у меня хватило нравственных сил последовать примеру С. Бира.

#### **Контрольные вопросы и задания**

1. Что значит «оценить риски» проекта?
2. Какой вид управления называют «менеджмент»?
3. Назовите причины (три), по которым участие стэйкхолдеров в системном анализе является необходимым.
4. Почему следует добиваться добровольности участия стэйкхолдеров в анализе?
5. Перечислите три условия, обеспечивающих добровольность участия.
6. Каковы меры по выполнению этих условий?
7. Попробуйте назвать этические нормы научных исследований вообще и прикладного системного анализа в частности.

## **ЧАСТЬ III**

# **КРАТКИЙ ОБЗОР РЕЗУЛЬТАТОВ СИСТЕМОЛОГИИ XX ВЕКА**

## СОВРЕМЕННЫЙ ЭТАП РАЗВИТИЯ СИСТЕМНОСТИ МЫШЛЕНИЯ: ПЕРЕХОД ОТ ИДЕОЛОГИИ ВЕКА МАШИН К ИДЕОЛОГИИ ВЕКА СИСТЕМ

### 6.1. Начальные представления об устройстве Вселенной

Для успешного действия в реальном мире необходимо прежде всего правильно (адекватно) представлять себе, что он из себя представляет. Оказывается, мир, в котором нас угроздило родиться, устроен весьма непросто. Из взаимодействий с окружающим нас миром человечество поняло, что:

а) мир **материален**, — и у нас появилось понятие *материи*, вещества, и соответствующих законов его сохранения (по Ломоносову: «если где-то чего-то убудет, то в другом месте того же самого столько же прибудет»);

б) мир **неоднороден**, — и у нас появились: понятие отдельных *объектов* и их размеров, расстояний между ними, — понятие *пространства*;

в) мир **непрерывно изменяется**, — и у нас появились понятия *движения*, *энергии* и *времени*, с соответствующими законами сохранения (КПД не может быть больше 100%, время необратимо);

г) мир **структурирован**, — и у нас появились понятия *организованности*, *информации*; более общо — понятие *систем*, с их различными степенями развитости, включая нашу собственную систему, называемую мозгом (по нашему мнению, наиболее развитую).

Каждый из этих четырех обнаруженных нами аспектов Вселенной проявляется в реальности в бесчисленно многообразных формах. Даже само понятие о материальности мира в последние годы пополнилось представлением физиков-теоретиков о существовании «темной» материи, а ощущаемая нами материя оказывается лишь незначительной частью материи Вселенной.

Изменчивость мира тоже предстает в самых различных формах. В попытках понять эти формы, мы ввели понятия о периодических и непериодических, быстрых и медленных, детерминированных и случайных процессах. Изменения нашей среды

обитания происходят со все возрастающей скоростью, при одновременном нарастании их непредсказуемости. Скорости очень важных для нашего существования процессов (например, передвижения в пространстве, или выполнения вычислительных операций, или установления личной связи с другим отдаленным субъектом) за время только нашего поколения возросли на порядки больше, чем за всю предыдущую многотысячелетнюю историю человечества. Во многом именно это стало одной из причин необходимости разработки новых, более эффективных, методов обращения с происходящими с нами и вокруг нас процессами.

Особенно важным для нашего существования в мире становится *степень* познания и понимания происходящего вокруг нас, и осознания возможностей повлиять на него. Здесь на первый план выходит четвертый аспект реальности — информационные взаимодействия. Ключевым моментом является тот факт, что изменения в окружающей нас среде могут происходить не только в силу природных закономерностей, но и в результате нашего субъективного вмешательства в ход событий. А то, что мы считаем нужным делать и делаем, определяется *нашим* видением мира (информацией о его существующем состоянии), *нашими* целями (информацией о его желаемом *нами* состоянии) и *нашими* возможностями осуществить переход от первого ко второму (информацией о наличных ресурсах для действий).

Идеей, позволившей собрать воедино наши представления о бесконечном качественно-пространственно-временном разнообразии Вселенной как о бесконечной совокупности различных сущностей, стало понятие *системы*. Мы теперь можем мыслить об окружающей нас реальности как о неограниченном *множестве взаимосвязанных и взаимодействующих друг с другом систем*, соседствующих (во времени и пространстве) или содержащих в себе более мелкие системы, либо входящих как части в более крупные системы.

Но, пожалуй, не менее важным в системном представлении о реальности является осознание того, что свойства системы есть не просто суммарная совокупность свойств частей, а принципиально, качественно новое, присущее только системе в целом, качество. Свойства воды не есть просто смесь свойств водорода и кислорода; свойства полезного вещества — поваренной соли — не есть совокупность свойств ядовитых веществ, натрия и хлора; свойства семьи не сводятся только к свойствам мужа и жены; ни одна часть самолета не летает, — летает только самолет в це-

лом; и т.д. и т.п. Всякое такое свойство системы, не сводящееся к свойствам ее частей, и не выводящееся из них, принято называть *эмерджентным* (в статическом варианте), или *синергетическим* (в динамическом).

### 6.2. Специфика системности человека — культура субъекта как «вторая природа»

Развитие системных представлений подвело нас к пониманию принципиального отличия человека от остальных объектов реальности. Для подчеркивания этого отличия объект «человек» получил даже специальное название — *субъект*. Субъект обладает той особенностью, что он взаимодействует с окружающей средой, не только пассивно следуя незыблемым законам природы, как и все остальные природные объекты, но и активно преобразуя окружающую среду в соответствии со своими *субъективными* целями и в доступной ему степени соотносясь с известными ему законами природы (см. параграф 2.4). Субъектом является и отдельная личность, и любая группа людей, объединенных общей целью, которая может иметь любые размеры — от семьи, племени, организации, этноса, до государства и человечества в целом.

Сугубо субъективными взаимодействиями субъекта со средой являются его *познавательная* и *преобразовательная* активности. Обе они осуществляются посредством *моделирования*, — деятельности человека по накоплению, преобразованию и использованию информации. *Познание* имеет результатом модели существующей окружающей среды; *проектирование* является построением моделей несуществующего, но желательного состояния среды; *управление* является действием, направленным на ликвидацию расхождений между существующим и желаемым состояниями путем постепенного целенаправленного изменения реальности.

Совокупность всех моделей субъекта (и врожденных, посредством которых начинается развитие новорожденного субъекта, и приобретенных в результате его собственного опыта существования в конкретной среде) образует его *культуру*, которая и определяет весь характер поведения субъекта. Разнообразие поступков субъектов в одинаковых внешних условиях связано с различиями их культур, являющихся сугубо индивидуальными; сходство их поведения связано с наличием общих элементов в их культурах; конфликты между субъектами вызваны различиями их культур. Поэтому приходится говорить об индивидуальной, уникальной культуре каждого субъекта — личности, группы, организации, нации и т.п.



Это очень важный момент в понимании феномена человека. Все исследователи природы человека обязательно обращали внимание на решающую роль культуры субъекта в его жизни. И давали ей разные названия, подчеркивающие те или иные ее стороны: модель мира, картина мира, ментальная модель, вещь для нас, внутренний мир, идеология, неявное знание, семантическое пространство, парадигма, верования, априорные предположения, паттерн, стереотип, фильтр восприятия, фрейм, установка, антиципирующая схема, концептуальная структура, контекст, латентное знание и т.д.

Важным расширением смысла термина «культура субъекта» по отношению к приведенным выше терминам является то, что в понятие культуры субъекта включаются не только абстрактные модели в мозгу человека, ментальные модели в *духовной* культуре субъекта, но и реальные, вещественные модели, составляющие *материальную* культуру субъекта: его органы чувств и все искусственные системы, созданные им: орудия труда, произведения искусства, предметы быта, приборы, техника, здания и сооружения, в целом — инфраструктура жизнедеятельности человека. Вся культура субъекта определяет и восприятие действительности, и планирование действий, и их осуществление в процессе взаимодействий субъекта с окружающей средой. А поскольку оказывается, что любые взаимодействия *субъекта* с реальностью происходят через культуру, посредством культуры, реальность для нас представлена в нашей культуре, — то мы склонны считать, что природа и есть такая, какой мы ее «видим» в наших моделях. Поэтому культуру иногда называют «второй природой». (Эта особенность нашего мышления была замечена еще святым Августином<sup>1</sup>: «Чудеса не противоречат природе: они противоречат тому, что мы знаем о природе»!)

Процесс *управления* основан на использовании сравнения моделей действительного и желаемого (целевого) состояний реальности, а успех управления зависит от качества наших знаний о реальности (*познавательных моделей!*) и от непротиворечивости наших целей (*прагматических моделей!*) законам природы. В простейшем случае управления искусственными (в частности, *тех-*

---

<sup>1</sup> Аврелий Августин, или Блаженный Августин (354—430) — влиятельнейший проповедник, христианский богослов и политик. Святой католической и православных церквей. Один из Отцов Церкви, родоначальник христианской философии истории.

*ническими*) системами условием выполнения этих требований является «закон необходимого разнообразия» Эшби: вполне успешно управлять системой можно только в том случае, если управляющая система не менее сложна (разнообразна), чем управляемая система. Необходимость этого требования следует из того, что для полностью успешного управления управляющая система должна «знать» (моделировать) *все* возможные состояния управляемой системы.

### 6.3. Развитие модели мироздания: смена парадигм

До недавнего времени стремление успешно управлять не только техническими, но и *социальными* системами, в которых существенными элементами являются *люди*, сводилось к тому, чтобы выполнялся закон Эшби, т.е. чтобы управляемая система была *простой*, действовала подобно машине, чтобы и люди в ней вели себя подобно частям машины, т.е. выполняли бы только те функции, которые необходимы для целей работы всей машины.

Разделение труда, механизация производственных процессов, поручение людям выполнение тех элементарных операций, которые (пока) не поддаются автоматизации, фактически полностью дегуманизировали труд людей на конвейерных линиях, непрерывных производствах, на фабриках и заводах, в жестких иерархических организациях. И вся система образования, сложившаяся за прошлые века, была подчинена цели подготовки кадров для работы в *аналитически* разделенных сферах специализаций труда. Другими словами, организация общества была основана на *механистической парадигме*, на *аналитическом мышлении*, на предпочтении только причинно-следственных связей между любыми сущностями, интересующими нас, на организации социальных структур с помощью упрощающих систему иерархических отношений подчиненности между ее элементами.

Хотя исторические эпохи не начинаются и не кончаются конкретными датами, а сменяют друг друга постепенно, господство механистической парадигмы связано с определенным периодом. Расселл Акофф считал, что Век Машин начался в эпоху Ренессанса, и подошел к концу во времена Второй мировой войны. Особенность Века Машин заключена в том, что при управлении социальными системами обращение с людьми основывалось на том, что они, подобно деталям в механизме или внутренним органам у живой особи, должны исполнять только отведенные им функции и не должны проявлять собственных

целей. Два обстоятельства до сих пор обеспечивали успешность этих моделей (механистической и организмической) социума.

Во-первых, впечатляли достижения аналитического, причинно-следственного подхода к исследованию и моделированию любых проявлений реальности: разделение сложного на все более и более мелкие части позволяло объяснить, как это сложное устроено и как оно действует (см. параграф 3.2). Практически все наши области знания организованы аналитически: анализ доводится до нахождения элементов, из которых состоят все объекты данной области. У физиков это элементарные частицы, у химиков — атомы и молекулы, у биологов — клетки, у музыкантов — ноты; в языкознании анализ доводится либо до отдельных слов, либо до символов письменной речи, либо до фонем в устной; в управлении анализ порождает иерархические исполнительные структуры и т.п.

Во-вторых, на протяжении Века Машин люди были вынуждены смиряться с тем, что работодатели (руководители предприятий и организаций) не брали в расчет личные интересы и цели работников: работу найти было трудно, и только на условиях, диктуемых работодателем. Квалификация для выполнения простых операций требовалась невысокая, и руководитель давал указания всем своим подчиненным, как выполнять эти операции.

Со временем ситуация стала меняться. Становилось все более явным, что природа намного сложнее любых ее моделей, что всеобщая взаимосвязанность в природе делает абстракцией представление о причинно-следственной связи только двух сущностей и, главное, — что только аналитический подход вообще не может дать исчерпывающих объяснений реальности (и природы человека — в особенности).

С другой стороны, развитие, усложнение технологий потребовало все большей квалификации работников; и в результате работники стали разбираться в своем деле больше и лучше своих начальников. В итоге старые методы управления организациями стали терять свою эффективность. Потребовалось во все большей мере учитывать, что при управлении *социальной* системой необходимо исходить не только из целей самой системы, но и учитывать еще и интересы бо льших (социальных и экологических) систем, в которых наша система есть лишь их часть, и кроме того (и обязательно!), — учитывать личные особенности и интересы каждого своего работника.

В этих условиях повышать управляемость социальных систем, приближаясь к закону Эшби максимальной управляемости, стало необходимым не только за счет упрощения (уменьшения разнообразия) управляемой системы, но прежде всего — за счет усложнения, развития (увеличения разнообразия) управляющей системы. Механистическая парадигма стала вытесняться парадигмой системной: наступает Век Систем.

Новый взгляд на мир — это новая культура, диктующая выдвижение иных целей, создания иных способов поведения вообще и управления в частности. Происходящие в мире перемены связаны с развитием нашего понимания действительно непостижимой сложности реальности, и с переходом к учету индивидуальных особенностей и интересов каждого субъекта. Если употреблять термин «*анализ*» в смысле «выяснение того, каков состав системы, и как взаимодействуют ее части», а термин «*синтез*» — в смысле «выяснение того, как система взаимодействует с другими системами из окружающей среды», то новая, «системная» парадигма отличается от старой, «аналитической», дополнением ее резким усилением внимания к синтетическому рассмотрению самой системы и всех ее частей (рассматриваемых не как элементы, а как тоже системы).

Такая парадигма сформировалась благодаря усилиям многих системных мыслителей и практиков XX века, среди которых особо выделяются: Р. Акофф, Л. Берталанфи, А. Богданов, В. Вернадский, Н. Винер, Е. Деминг, П. Друкер, Д. Медоуз, Н. Моисеев, Д. Поспелов, И. Пригожин, П. Сенге, Дж. Форрестер, Т. де Шарден, и многие другие.

Главной особенностью новой парадигмы является существенный шаг к повышению адекватности наших моделей реальности: теперь для достижения наших целей становится принципиально важным не ограничиваться только информацией о внутреннем устройстве системы, которую мы намерены перевести в желательное нам состояние, но прежде всего учесть возможные последствия наших планируемых изменений в окружающей систему среде. Это и означает не отказ от *аналитического* описания ситуации, а его дополнение ее *синтетическим* рассмотрением (см. параграф 3.2).

Есть еще один важный момент в происходящем развитии новой парадигмы. Нарастивание адекватности наших моделей не может ограничиться только учетом все большего числа сведений об окружающем нас мире. Осознана необходимость включения в наши рабочие модели реальности — и информации о природе самого человека, создающего модели.

И тут обнаружилось, что функция моделирования нашего мозга не исчерпывается только *анализом* и *синтезом*, которые являются результатами работы нашего *сознания* по логическим преобразованиям имеющейся информации. Оказывается, очень многие и очень важные формы моделирования, обеспечивающие жизнедеятельность человека, происходят на *подсознательных* уровнях работы мозга. Изучение тонких особенностей *поведения* человека (психология, социология) и функционирования самого человеческого *мозга* (анатомия и физиология мозга) выявили существование в мозге особых и разнообразных процессов *подсознательной* (неявной, латентной, невербальной) обработки информации, порождающих поразительные, иногда даже кажущиеся нам сверхъестественными, модели: и такие, которые, хотя и в разной степени, есть у всех (инстинкты, эмоции, интуиция, творчество, сновидения, озарение), и такие, которые проявляются не у каждого и не всегда (у гипнотизеров, гениев, провидцев, ясновидцев, экстрасенсов, телепатов), и такие, которые считаются болезненными отклонениями от нормы (патологические заболевания психики).

Некоторые результаты изучения этих внесознательных информационных процессов находят применение в практике управления социальными системами. Например, гипноз применяется в медицинских (и иногда — политических) целях; современная педагогика ставит задачу раннего выявления у детей врожденных способностей и талантов для их последующего сознательного максимального раскрытия; а в современной теории менеджмента интенсивно разрабатывается проблема сознательного вовлечения иррациональной интуиции менеджеров в рациональное принятие ими управленческих решений (это становится критически важным, когда для нахождения рационального решения остро не хватает нужной информации и времени; а такие ситуации в практике управления нередки).

Системная картина мира, являющаяся основой менталитета человечества, развивается не только в виде смены самых общих парадигм, о чем сказано выше. Происходит также собственное развитие системологии: извлечение из реального мира все новой экспериментальной информации о нем (*data mining*), преобразование этих «сырых» данных в новые элементы наших моделей систем (технологии моделирования, *data processing, knowledge management*). В результате расширяется и углубляется наше понимание природы систем, что позволяет планировать более успеш-

ные изменения окружающей нас среды в стремлении реализовать наши цели.

Для осуществления разных целей требуется разная информация о системе и окружающей ее среде, в разных сочетаниях сведения о разных их свойствах — статических, динамических, синтетических (см. главу 2). Развитие моделей соответствующих групп свойств систем дошло до уровня, когда можно говорить о формировании специфических разделов системологии — *системостатики, системодинамики, и теории сложности*. Попробуем кратко охарактеризовать современное состояние этих разделов.

#### **Контрольные вопросы и задания**

1. Какие особенности реального мира мы отображаем понятиями материи, пространства, времени, системы?
2. Попробуйте показать, что моделирование — это не такая функция, которую человек может делать или не делать, что он вообще ничего не может делать без моделирования.
3. Сформулируйте основные различия между механистической и системной парадигмой (видением эффективных отношений между людьми в процессе их жизнедеятельности в окружающей среде).

## ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМОСТАТИКИ

Совокупность сведений об особенностях состояния системы в любой *фиксированный* момент времени образует раздел системологии, который уместно называть *системостатикой*. Исходные понятия системостатики, — четыре *статических* свойства системы (целостность, открытость, внутренняя неоднородность, структурированность) — охарактеризованы в параграфе 2.1. При системном рассмотрении конкретной проблемной ситуации приходится подходящим образом сочетать сведения об этих свойствах с данными о других ее качествах. И при пользовании этой информацией в практических целях важно иметь в виду, что *все свойства системы не являются независимыми, и связаны между собой*. Работая с системой, необходимо постоянно иметь в виду, что она целостна, и все ее свойства проявляются не по отдельности, а совместно и одновременно: все свойства системы сами тоже образуют систему. Обсудим статические свойства систем с учетом этого момента.

### 7.1. Целостность (в сочетании с открытостью, функциональностью, целесообразностью и эмерджентностью)

Представление о *целостности* системы отражает факт того, что реальный мир неоднороден, и что можно отличать одну неоднородность от другой как отдельное *целое*, — по каким-то особенностям, признакам, свойствам, присущим этой неоднородности, и не присущим другой. Мы воспринимаем нечто как *целое*, если оно является обладателем, носителем некоторого специфического *свойства*.

*Свойство*, отличающее один объект от других, мыслится нами как некий атрибут объекта, принадлежащий ему как таковому. Мяч круглый, гиря тяжелая, трава зеленая, девушка красивая и т.д. Однако при ближайшем рассмотрении выясняется, что понятие *свойства* оказывается продуктом изумительной осо-

бенности языкового моделирования, — способности просто, эффективно, экономно описать сложную ситуацию, *заменяя многоместное отношение одноместным*.

Любое свойство объекта становится известным нам только в результате наблюдения его взаимодействия с другими объектами, является описанием особенности его *связей, отношений* с ними. Например, мы говорим, что «стекло прозрачное». Это сжато означает, что «если с одной стороны стекла поместить источник света, а с другой — прибор, чувствительный к свету, то прибор регистрирует прохождение световой энергии сквозь стекло», и можно даже измерить (с помощью специальной технологии!) степень «прозрачности» стекла. Другой пример: мы говорим, что «этот объект — зеленый». Эта фраза кратко выражает тот факт, что «при освещении данного объекта белым светом, анализатор света, чувствительный к цветам, обнаружит, что данный объект отражает только зеленую составляющую из всего спектра частот белого света».

И такое понимание «свойства» относится ко *всем свойствам всех объектов*: любое свойство объекта проявляется только во взаимодействии его с другими объектами. *Объяснение того, чем является описываемый объект, сводится к перечислению его свойств, интересующих нас, т.е. некоторых из его связей с другими объектами*. Какие из свойств нужно описать, зависит от *цели* рассмотрения объекта. А само наличие взаимодействий системы с окружающей средой мы обозначаем понятием *открытости* системы.

Вместе с тем, Кант обратил внимание на то, что *внешние* свойства объекта, становящиеся *известными нам* в результате наблюдения и осмысления его взаимодействий с окружающей его средой (познания «вещи для нас»), являются проявлением каких-то *внутренних* особенностей объекта, присущих ему самому потенциально, независимо от состояния среды и наличия наблюдателя. Кант называет такие особенности «вещью в себе». Прозрачность стекла проявляется (стекло становится «вещью для нас») только при его освещении светом, но и в темноте стекло (как «вещь в себе») обладает тем, что делает его прозрачным при освещении. И это «что-то» познаваемо лишь в какой-то своей части, в ходе определенного конкретного эксперимента, а в абсолютном смысле остается непознаваемым. Например, мы не знаем, на что и в какой степени способен человек, пока не испытаем его в деле. Современное развитие педагогики ставит основной целью образования (воспитания и обучения) человека обнаружение врожденных (*внутренних*, потенциальных, сугубо индивидуальных) способностей



и талантов человека и создание условий для их полнейшего раскрытия во *внешней* среде. Обнаружение ранее неизвестного свойства объекта и называется *открытием*.

С другой стороны, целостность системы можно также рассматривать как *внутренний* облик эмерджентности. Нарушение целостности (например, изъятие из нее любой, даже мельчайшей, части) изменяет всю систему (см. параграф 2.3). Очень образно это выразил эколог О. Леопольд (*Aldo Leopold. Round River. NY: Oxford Univ. Press, 1993*): «Если почвенные механизмы хорошо работают как единое целое, значит, и каждая их часть хороша, и неважно, насколько детально мы в них разбираемся. Биоте удалось за миллионы лет построить нечто, что нам очень нравится, но в чем мы почти ничего не понимаем, поэтому избавляться от частей, которые нам кажутся бесполезными, — чудовищная глупость». Он имел в виду почву, но это справедливо для любых *естественных* систем (например, одно время в США существовала практика вырезать у всех новорожденных аппендикс ради предотвращения аппендицита в будущем; конечно, пришлось прекратить такую практику, хотя роль аппендикса в организме осталась неясной). С *искусственными* системами дело обстоит аналогичным образом: внося в них изменения, мы принимаем на себя роль, которую в природе играет естественный отбор.

## 7.2. Открытость (в сочетании с целесообразностью и функциональностью)

Открытость системы отображается ее моделью «черного ящика». Главная сложность моделирования реальности проистекает из того, что все в мире взаимосвязано и взаимозависимо, и каждый раз в модель ее черного ящика приходится из всего *бесконечного* сплетения связей нашей системы с остальным миром включать только очень ограниченное *конечное* число связей, информация о которых необходима и достаточна («*существенна*») для решения *нашей* конкретной проблемы. Поэтому из всего многообразия связей мы включаем в модель только «*сильные*», «*важные*» входы и выходы. При этом, из-за субъективности, относительности понятия *существенности* (по отношению к достижению *цели*), возникают трудности в виде возможности совершения четырех типов ошибок (обсужденных в параграфе 2.1).

*Аналитическое* описание связей системы с окружающей средой начинается с рассмотрения *существенных попарных* взаимодействий между системой и каждым из элементов среды. При этом приходит-

ся учитывать, что связи различаются между собой *качественно* по характеру и *количественно* по силе воздействия одной сущности на другую, и, естественно, мы стремимся учесть из них прежде всего самые «существенные» (для наших целей), по нашему разумению.

Самые сильные из них, *причинно-следственные*, называются законами природы. Причинно-следственная связь между событиями настолько сильна, что является *необходимой и достаточной*: если произошло первое, второе произойдет обязательно, и наоборот, — если случилось второе, то обязательно этому предшествовало первое. Для причинно-следственной связи не требуется наличие третьих участников взаимодействия (рис. 7.1). Но именно это означает, что такой «закон природы» является определенной абстракцией от реальности с ее *всеобщей* взаимосвязанностью. Эта приблизительность проявляет себя и в практике, и в теории. Например, из закона всемирного тяготения следует независимость ускорения свободного падения от массы тела; но камень и пушинка падают по-разному, именно из-за участия в их взаимодействиях с Землей еще одной сущности, — *воздуха*. А в теории это проявляется в виде парадоксов. Например, по закону Кулона сила взаимодействия двух зарядов стремится к бесконечности при их сближении; по закону Ньютона сила взаимного тяготения двух масс неограниченно растет при уменьшении расстояния между ними (в обоих законах сила взаимодействий обратно пропорциональна квадрату расстояния).

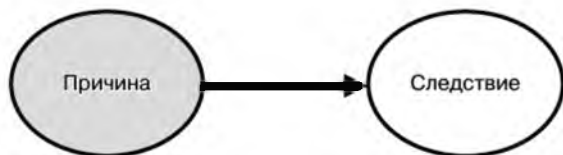


Рис. 7.1. Схема причинно-следственной связи

Таким образом, причинно-следственная связь между двумя сущностями является *приблизительным* описанием реальности, когда наличием других взаимодействий можно пренебречь. Например, при проектировании подъемного крана учитывают только веса его деталей и груза (т.е. силы их взаимодействий с Землей), и пренебрегают (весьма малыми, но существующими!) силами их взаимного тяготения друг к другу.

Однако во многих ситуациях разница в значимости разных влияний на систему не столь велика, чтобы было допустимым пренебрегать какими-то из них, и при описании взаимодействия

между только двумя сущностями следует учитывать вмешательство остальных в это взаимодействие. Это вмешательство может иметь разный характер, что приводит к еще трем типам представления итогового взаимодействия *как парного*, — более слабого, чем причинно-следственное.

Связь двух сущностей может быть *необходимой, но не достаточной*. Примером может служить связь между желудем и дубом: для появления дуба желудь необходим, но только его не достаточно, — нужны еще почва, влага, тепло, свет, воздух и многое другое, без чего дуб не появится. Название для такого типа связи между двумя сущностями еще не установилось. В группе причинных условий главную причину (сущность типа желудя) называют «*основной причиной*» либо «*системообразующим фактором*», остальные (тоже необходимые) условия — «*сопутствующими причинами*» или «*лимитирующими факторами*»; а Р. Акофф предложил называть связанную таким образом центральную пару сущностей (основную причину и следствие) как «*продуцент — продукт*» (рис. 7.2).

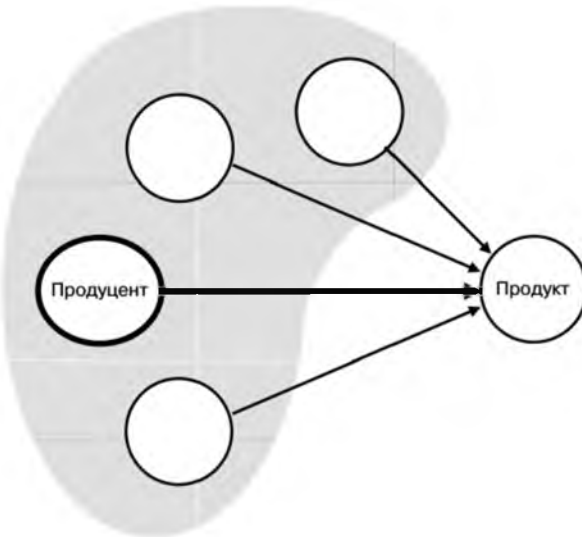


Рис. 7.2. Продуцент — «системообразующий» фактор: без него остальные («лимитирующие») факторы бесполезны, но без них продуцент не превратится в продукт

Рассмотрение динамики системы, т.е. ее истории после возникновения, привело к расширению понятия этого типа связи. Помимо коренной причины, без которой следствие в принципе

не может произойти, для функционирования системы необходимо много других факторов, и что важно, — их наличие требуется в строго определенных пропорциях между собой и в строго определенных пределах для каждого в отдельности. Для появления дуба необходима почва, но не любого состава; нужна влага, но в определенной пропорции; нужно тепло, но в ограниченном диапазоне температур и т.д. Если какой-нибудь фактор выйдет за допустимые пределы, это станет причиной гибели всей системы (как засуха или наводнение губят урожай). Именно он становится фактором, *лимитирующим* наступление следствия. Часто оперативное управление системой фактически сводится к возврату в нормальные пределы лимитирующих факторов, которые сменяют друг друга (из-за изменений со временем и окружающей среды, и самой системы) на протяжении всей жизни системы.

Таким образом, данный тип связи характеризуется как связь *следствия с причинной совокупностью системообразующего (коренного) и лимитирующих факторов.*

Связь двух сущностей может быть *достаточной, но не необходимой.* Это имеет место в случае, когда один и тот же эффект может возникнуть от любой из разных причин (как ранение в бою от разных поражающих объектов; или опьянение от разных напитков; или получение нужной суммы от любого из инвесторов). Такую связь иногда называют *направленной или потенциально возможной* (рис. 7.3).

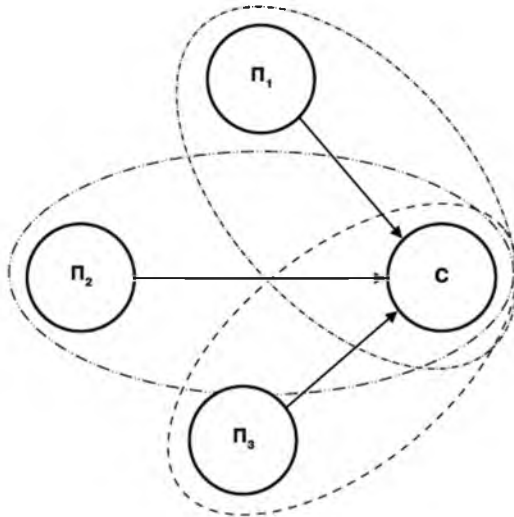


Рис. 7.3. Каждый из нескольких факторов приводит к одинаковому результату

Связь двух сущностей может быть *существенной, но не необходимой и не достаточной*. В отличие от первых трех, *прямых*, взаимодействий между двумя сущностями, они могут быть связаны *косвенно*, через цепочки других взаимосвязанных сущностей. Таких цепочек может быть несколько, причем эффекты воздействия по одним цепочкам может быть положительным, а по другим — отрицательным (рис. 7.4). Итоговый результат для разных объектов в одинаковых обстоятельствах может быть разным, и при его рассмотрении в целом по совокупности объектов трактуется как *вероятный, возможный, случайный*.

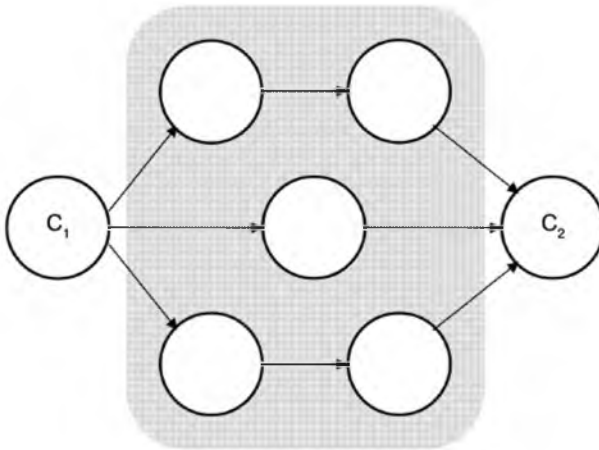


Рис. 7.4. Опосредованная, не прямая связь между двумя сущностями

Примером может служить связь между курением и состоянием сердца курильщика. Курение влияет на сердце через воздействие на разные другие части организма: уплотняет артерии (что плохо для сердца), стабилизирует вес тела (что хорошо), снижает тревожность (что хорошо), вредит легким (что для сердца плохо) и т.д.

Такая косвенная связь может иметь разную силу, и в некоторых случаях оказывается существенной. При этом в силу итоговой неоднозначности, случайности, косвенные связи *позволяют прогнозировать события, но не обладают объяснительной силой*. Как пишут Акофф и Эмери, «Даже очень сильная связь между алкоголизмом и социально-экономическими условиями не объясняет причин болезни и не помогает предотвратить или вылечить ее. Статистика дорожно-транспортных происшествий и со-

стояния опьянения водителей не помогает исключить несчастные случаи на дорогах». Связи данного типа называются *косвенными*, «*стохастическими*», «*вероятностными*», «*статистическими*», «*ассоциативными*».

Различение типов связей важно прежде всего потому, что разные типы связей требуют по-разному воздействовать на моделируемый или управляемый объект. Особенно наглядно это проявляется в случаях, когда одна связь ошибочно принимается за другую, например, «после — значит вследствие», или ошибка 4-го рода при построении модели черного ящика, или когда сильная стохастическая связь принимается за причинно-следственную («в здоровом теле — здоровый дух», «курение — причина рака легких» и т.п.).

7.3. Различимость частей (в сочетании с функциональностью и целесообразностью)

По сути, это свойство связано с проведением внешней границы, отделяющей систему от окружающей среды, или границ между неоднородностями внутри системы. К тому, что было сказано (в параграфе 2.1) о трудностях построения модели состава, стоит добавить более подробное обсуждение самого понятия *границы* некоторой сущности.

Какую бы сущность мы ни рассматривали, мы описываем ее перечислением набора ее свойств, — наблюдаемых или предполагаемых характеристик, признаков (измеримых параметров, фиксируемых в соответствующих качественных или количественных *измерительных шкалах*). Состояние конкретной сущности (всей совокупности ее элементов и (или) отдельного ее элемента) характеризуется определенным набором значений этих параметров. Если мыслить каждый признак как координату некоторого пространства, то мы получим *пространство состояний* (*фазовое пространство*) сущности, в котором статическое (мгновенное) ее состояние представляется соответствующей точкой, а динамическое (временной процесс) — определенной траекторией.

Границей называется поверхность в фазовом пространстве, разделяющая это пространство на две области. Такое разбиение может осуществляться как угодно, но когда речь идет об определении *границы* некоторой системы, то разбиение должно отвечать соответствующему условию: ограничиваемое подпространство состояний системы содержит множество разных (отличающихся координатами) элементов, но обладающих хотя бы одним призна-

ком, общим для всех элементов системы, и не присущим элементам, не входящим в нее. Такой специфический признак называется *классификационным*.

Например, состояние каждого пациента характеризуется собственным набором значений признаков (пол, возраст, вес, рост, температура, артериальное давление, состав крови и т.д.), но есть классификационный признак, позволяющий разбить пространство состояний на две области: к одной относятся больные данной болезнью, к другой — здоровые (или больные другими болезнями) люди. Поиск границ между областями, соответствующими разным болезням, является вождением каждого врача для целей диагностики.

Часто главным отличительным признаком системы является ее обладание некоторой специфической *функцией*. В тех случаях, когда выходной процесс системы рассматривается как ее *целевая* функция, определение границ системы облегчается: в нее входит все то, что участвует в реализации данной *объективной* цели. Именно это позволяет вполне четко различать нервную, кровеносную и пищеварительную системы в организме, или системы отопления, электроснабжения и канализации в здании, или системы здравоохранения, образования и общественной безопасности в государстве и т.д.

Другим основанием для отграничения системы от ее окружения может служить тот факт, что часто связи между частями системы намного сильнее, нежели их связи с элементами окружающей среды, или резко различаются качественно. Для таких систем граница выглядит как естественный раздел между ними и средой. Ярким примером является внешнее обрамление физических тел, — поверхность различных предметов, технических сооружений, органов в теле животных, планетных систем, населенных пунктов на территории, островов в океане и т.п. В таких случаях говорят о *естественных границах* системы. По-видимому, именно это имел в виду отец кибернетики Н. Винер, говоря об информационных связях в социальных системах: «система простирается до тех пределов, до которых доходит информация».

Однако (в силу закона о всеобщей взаимосвязи в природе!) даже естественные границы иногда приходится описывать приблизительно. Например, атмосфера планеты с высотой истончается очень постепенно, и ее внешнюю границу можно провести лишь условно. И уж тем более наличие *субъективного фактора* в отношениях между реальностью и субъектом делает отграничение системы

относительным, условным, субъективным. Разные субъективные цели взаимодействия с данной системой вынуждают по-разному «вырезать» ее контур из объективного переплетения всего со всем. Например, границы университета по-разному выглядят при его рассмотрении с разными целями. В земельном кадастре города за университетом закреплена определенная территория. В трудовом законодательстве принадлежность работника к университету определена ситуационно (вспомните пример с оплатой больничного листа в параграфе 2.1). При дистанционном обучении студенты университета могут находиться в отдаленных от него регионах. Другим примером может служить река. На географических картах мира отображено только русло реки. Геофизический подход к определению системы «река» включает в нее все притоки и *территорию* водосбора, расширяя понятие до бассейна реки, и экологи считают границей системы ее водораздел с бассейном другой реки. С позиций же речного флота границы реки сужаются от берегов до пределов фарватера, *обозначаемых* специальными знаками (бакенами). Еще один пример — человек. В обществе о его внешней границе «судят по одежке». Его видимая естественная внешняя граница — кожные покровы. Медики считают внешней границей организма также оболочки желудочно-кишечного тракта, относя его содержимое к внешней среде. Некоторые исследователи феномена человека установили наличие особого поля, окружающего тело человека (эффект Кирлиану, биополе, аура), которое объективно является его неотъемлемым компонентом.

Итак, главным фактором при проведении границ системы и ее частей является *субъективная цель* построения модели состава системы. Это дало основание для одного из определений системы как совокупности взаимодействующих частей: *системой является все то, что мы хотим рассматривать как систему. А объективным основанием для такого высказывания является всеобщая взаимосвязь и взаимозависимость в природе, т.е. целостность Природы: сама Природа — единая целая система систем.*

### **7.3. Структурированность (в сочетании с внутренней неоднородностью системы, ее открытостью, функциональностью, эмерджентностью, целесообразностью)**

*Модель структуры* системы определяется как *перечень существенных связей между частями системы*. Ключевым словом здесь является оценочный термин «*существенный*». В это понятие входит то, что:



1) информация о данной связи *необходима* для успешности достижения цели с помощью созданной модели;

2) *информативность* этой связи намного превосходит значимость других связей, признанных «несущественными» и поэтому не включаемых в модель;

3) совокупная информация обо всех существенных связях *достаточна* для успешного достижения цели.

По сути, модель структуры возникает в результате целенаправленной доработки модели состава: для каждой выделенной части системы строится модель черного ящика, входы и выходы которой и есть существенные связи данной части с другими частями.

Уместно начать с рассмотрения простейшего (на первый взгляд) элемента модели структуры — отдельной *связи* между двумя фиксированными элементами модели состава. Важной особенностью связи часто является ее *направленность*, отображающая тот факт, что взаимодействие двух сущностей состоит из воздействий их друг на друга. Бывают ситуации, когда действие одного на другое равно действию второго на первое (как в механике, — «действие равно противодействию»); но часто одно из воздействий превосходит по силе другое, и тогда в рабочей модели ситуации остается лишь наиболее сильное (как в модели отношений начальника и подчиненного, или в модели отношений между причиной и следствием). В итоге модель системы часто выглядит как граф с однонаправленными (*каузальными*) связями между парами вершин.

Во многих случаях характер *динамических* процессов в системе зависит и от того, какой именно ресурс, с какой интенсивностью поступает по данному каналу связи, и каковы возможности регулирования этой интенсивности. Тогда наступает необходимость в представлении информации о *составе и структуре* самой связи, и во внесении соответствующих изменений и дополнений в структурную схему всей системы. При таком подходе функционирование системы представляется как течение потоков ресурсов (веществ, энергии, информации) по каналам, связывающим части системы, каждая из которых осуществляет определенные (количественные и (или) качественные) преобразования поступивших на ее входы ресурсов и отправляет результат другим частям по выходным каналам связи. При этом типовыми элементами модели состава *связи* являются три компонента (первый — присущ любой связи, остальные два — присутствуют лишь в некоторых связях):

- канал связи («поток», «труба», «проводящий путь» и т.п.), максимально возможная скорость прохождения ресурса по которому называется его «пропускной способностью»;
- регулятор потока («вентиль», «кран»), позволяющий изменять скорость потока в канале в пределах между нулем и пропускной способностью;
- резервуар («накопитель» ресурса), в котором объем ресурса характеризуется «запасом» (или «уровнем») и зависит от соотношения между его емкостью и скоростями его входных и выходных потоков.

В итоге в модель состава системы войдут не только ее собственные функциональные части, но и указанные части каждой связи (рис. 7.5). Их учет весьма существенен при рассмотрении *динамики* процессов в системе. (Этот вопрос будет обсужден в следующем параграфе).

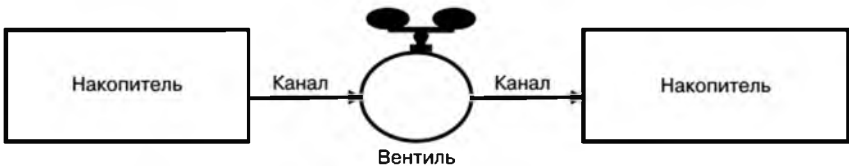


Рис. 7.5. Каналы, вентили и накопители — элементы потока ресурсов

Далее, в системе можно рассматривать последовательные цепочки связанных друг с другом частей. Действие одной сущности на другую может осуществляться не только напрямую, но и через воздействие на третьи сущности, которые связаны (прямо или косвенно) с обеими; и цепочки таких промежуточных сущностей могут быть сколь угодно длинными, а результат воздействия через конкретную цепочку может носить как позитивный, так и негативный характер. И если таких цепочек между двумя сущностями несколько (вспомните пример влияния курения на работу сердца), итоговый эффект определяется преобладанием одних над другими.

Другой, и очень важной, особенностью последовательностей направленных связей является то, что цепочка попарных воздействий, начавшаяся от данного объекта, может, в конечном счете, замкнуться на него же самого. Такое явление называется *обратной связью*. При этом возвратное воздействие на первоисточник может способствовать первоначальному процессу, усиливать его (в этом случае обратная связь называется *положитель-*

ной), но может и ослаблять, угнетать его (и тогда обратная связь называется *отрицательной*, или *стабилизирующей*). Наличие обратных связей приводит к большому разнообразию типов поведения системы, что является предметом теории *системной динамики*. (Этот вопрос мы обсудим позднее, при рассмотрении динамических свойств систем.)

От рассмотрения отдельных связей и их линейных последовательностей перейдем к описанию особенностей всего множества связей — модели *структуры* системы. В совокупности, модели состава и структуры образуют *структурную схему системы*, обычно изображаемую неким *графом*, состоящим из «узлов», или «вершин» (изображением частей) и «ребер», или «дуг» (изображением связей между частями). Разнонаправленность связей обозначается наличием стрелок на ребрах (*ориентированные графы*), а разнотипность по качеству связей иногда отображается разноцветностью дуг (*цветные*, или *раскрашенные графы*) или другими различающими их представлениями; например, Дж. Форрестер (*Jay W. Forrester, Industrial Dynamics, Pegasus*) предлагает отображать потоки разных типов ресурсов в экономических системах стрелками разных конфигураций (рис. 7.6).



Рис. 7.6. Обозначения потоков разных типов ресурсов

Двойственность графов, при которой в качестве вершин могут рассматриваться либо части, либо их функции, позволяет описывать как статическую, так и динамическую структурную схему системы. Такая модель дает возможность представлять самые разнообразные системы. Их структурные схемы образуют широкий спектр различных графов, — от линейной цепочки до *полного графа*, в котором каждая вершина связана со всеми остальными (рис. 7.7).

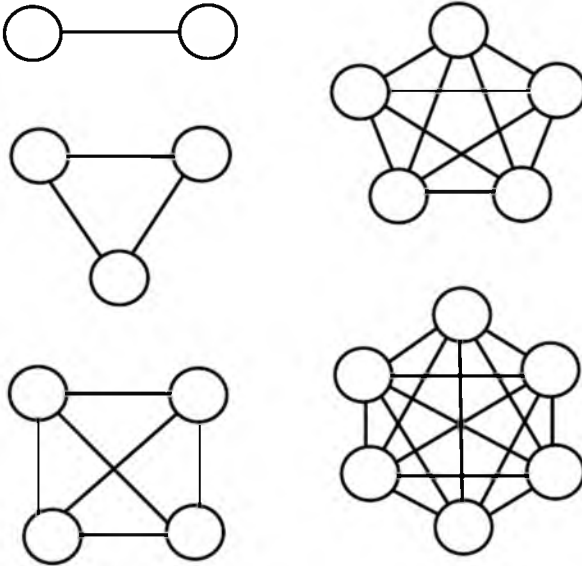


Рис. 7.7. Примеры полных графов

На графовых моделях удобно рассматривать разные особенности систем, связанные с их структурой.

Рассмотрим некоторые варианты моделей структуры систем. Один из аспектов, придающих специфику структурной схеме системы — *надежность* системы, т.е. ее исправное функционирование, несмотря на выход из строя какого-то элемента. Повышение надежности системы возможно за счет внесения *избыточности* в структуру системы. В технических системах это часто делается путем дублирования, параллельного выполнения несколькими элементами одной и той же функции; в системах передачи информации при наличии помех избыточность вносится в передаваемый сигнал при его кодировании (простейший пример помехоустойчивого кодирования — кратное повторение сообщения); в организационных системах нужная избыточность вводится обычно в форме резервирования (примеры — должности президента и вице-президента, начальника и его заместителя и т.п.).

Особое место среди структурных схем занимает *иерархия*. Этим термином обозначена многоуровневая древовидная структурная схема, в которой каждый элемент связан только с одним элементом верхнего уровня и с несколькими элементами нижнего уровня (см. рис. 2.14). Эта структура придает системе такие

свойства, которые привели к тому, что подавляющее большинство естественных (природных) и искусственных (создаваемых человеком) систем организованы иерархически. Специфическими особенностями идеальной иерархической структуры являются:

- система состоит из некоторого множества частей, внутренние связи элементов в каждой из них сильнее, чем внешние, т.е. границы между частями носят *естественный* характер, и каждая часть выполняет свою *функцию*, т.е. имеет собственную, вмененную ей *цель*;

- цели частей согласованы между собой таким образом, что их совместное осуществление обеспечивает осуществление цели системы, частями которой они являются. Цели частей в иерархической структуре образуют *дерево целей*, каждый элемент которого играет двойную роль: с одной стороны, он является *целью* по отношению к подцелям нижнего уровня, с другой — является *средством* достижения цели (*подцелью*) элемента верхнего уровня.

То, что многие естественные и искусственные системы обладают иерархической структурой, объясняется тем, что она позволяет простым наращиванием уровней иерархии создавать все более и более сложную систему из относительно простых элементов, сохраняя при этом гармонизацию целей частей с целью всей системы. Иерархия является весьма эффективным средством преодоления сложности большой размерности. Пожалуй, главное достоинство иерархии заключается в том, что она позволяет обеспечивать хранение и постоянную обработку огромных объемов информации, необходимых для существования, роста и развития всей системы в изменяющейся окружающей среде, при том существенном ограничении, что каждый элемент в структуре может работать только с ограниченными объемами информации.

Например, количество подчиненных у руководителя ограничено чисто психофизиологической ограниченностью способности человека удерживать во внимании деятельность сразу нескольких подчиненных одновременно (эмпирически установленное в психологии «правило семь плюс — минус два»). При необходимости координировать действия большего числа подчиненных работников выход состоит в создании иерархии. В естественных физических системах, возникающих и развивающихся геометрически, иерархическая организация часто реализуется в виде *спиралевидных* структур (раковины некоторых моллюсков; вихри, ураганы и смерчи; форма Млечного Пути и других галактик во Вселенной).

Очень распространенным в природе вариантом иерархичности систем является *фрактальность* их строения, одинаковость правил сочетания элементов на всех уровнях организации (в ветвящихся растениях, геологических структурах, в организации материи — от элементарных частиц до макрокосмоса).

При решении проблемы, связанной с любой ее частью, рассмотрение ситуации может сосредотачиваться на различных окрестностях этой части в общей структуре всей системы, учитывая в разной степени взаимодействия этой части со связанными с нею другими частями. Например, при заболевании у вас какого-нибудь органа, доктор может назначить лечение, нацеленное на изменение состояния только самого органа, либо на его взаимодействия с другими подсистемами *того же уровня иерархии* (к примеру, с сердечнососудистой системой), но может обратить внимание на тип вашей психики и образ жизни (относящиеся к *более высоким уровням иерархии*), либо на молекулярную структуру клеток заболевшего органа (что находится на *нижнем уровне структурной иерархии*), а то и на нарушения его гена в молекулярной структуре вашей ДНК (при наследственных заболеваниях).

Хотя иерархические системы развиваются с самого нижнего уровня, и исходная цель верхних уровней иерархии состоит в том, чтобы помогать нижним уровням в достижении их целей, — в реальной жизни, по разным причинам, происходят отклонения от правил идеальной иерархии, изменяющие характеристики системы в целом. Для *социальных* систем характерны отклонения, связанные с тем, что у людей (как *целеполагающих* субъектов) некоторые цели расходятся с теми, которые диктуются им правилами иерархии. Среди таких ситуаций чаще всего встречаются следующие:

- люди, относящиеся к разным ветвям и уровням иерархии, часто устанавливают и используют в своих интересах связи, не предусматриваемые идеальной иерархией (пример — семейственность и кумовство в органах власти);
- субъекты при функционировании преследуют не только отведенные им иерархией цели, но и другие свои цели, часто более старательно (например, если корпорация подкупает властные структуры для лоббирования своих интересов, общество страдает от нарушения механизма рыночной конкуренции; если студенты считают, что их цель — получить хорошие оценки, а не знания, то начинается повальное списывание, мешающее достижению цели образования);
- во многих социальных иерархиях верхние уровни стремятся до предела централизовать управление. Чрезмерный кон-

троль центра над всеми элементами иерархии приводит к тому, что каждый из них лишается возможности осуществлять даже функции собственного поддержания, в результате чего может погибнуть вся система (история дает тому немало примеров).

Однако иерархия — не единственно возможная структура сложных систем. При усложнении системы распределение функций по ее компонентам может быть все менее асимметричным и централизованным, а значимость, важность частей для системы в целом все менее разнящейся. В таких случаях образуются *многомерные* и *сетевые* структуры. Особенно характерно это для *социальных систем*, в которых существенными элементами являются люди со своими собственными субъективными целями, что находится в противоречии требованиями идеальной иерархии. Сеть качественно отличается от иерархической организации: в ней нет такой части, изъятие которой нарушило бы функционирование всей системы. Например, разрушение линии прямой телефонной связи между двумя городами не лишает их возможности связаться через третий город, с которым они оба связаны.

Сетевые структуры в последние годы привлекают возрастающее внимание в связи с их нарастающим значением в общественной практике. Типичными примерами могут служить маркетинговые и логистические сети в экономике, коллективные информационные структуры (социальные сети) в Интернете, распределенные вычислительные структуры в информатике, некоторые массовые явления в социологии и психологии. Р. Акофф обратил внимание на то, что сетевой характер международного терроризма делает неэффективными методы борьбы с ним, основанные на предположении, что террористы являются членами организации, а не сети (*Акофф Р., Штрюмпфер Дж. Системный взгляд на терроризм. Проблемы управления в социальных системах*, Изд. ТГУ, 2009, Том 1. Вып. 2, с. 50—63). К сетям требуется иной подход, нежели к организациям. Исследование особенностей сетевых структур стало актуальной проблематикой в теории и практике управления.

#### **Контрольные вопросы и задания**

1. Покажите на примере, что понятие свойства как атрибута объекта является упрощенной моделью его многосторонних отношений с другими объектами.
2. Перечислите четыре типа связей между двумя событиями.
3. Где проходят границы системы?
4. Обсудите различия между структурой и моделью структуры системы.

## ЭЛЕМЕНТЫ ДИНАМИКИ СИСТЕМ

Для успешного взаимодействия субъекта с окружающей его реальностью важно не только использование знаний об особенностях реальности, имеющих место в любой момент времени (т.е. информация о *статических* свойствах систем), но и знаний об особенностях происходящих и возможных изменений реальности (т.е. информация о *динамических* свойствах систем).

Особенности процессов, происходящих с системами, можно расклассифицировать на четыре типа динамических свойств, описанные в параграфе 2.2. Однако при работе с реальной системой любое из этих свойств проявляется в некотором уникальном сочетании с остальными свойствами данной системы, что в итоге порождает конкретный вариант ее поведения, характерный только для данной системы в данной окружающей среде. Именно этот процесс поведения и есть конкретный объект и нашего внимания, и нашей активности, т.е. нашей познавательной и (или) преобразовательной деятельности.

Совокупность знаний о возможных временных процессах в системном мире и о факторах, влияющих на то, какой именно процесс будет происходить, составляет содержание специального раздела системологии — *системодинамики*.

Попытаемся дать обзор основных результатов изучения динамики систем, полученных к настоящему времени, обсуждая каждое из динамических свойств в совокупности с другими свойствами систем.

### **8.1. Функциональность (в сочетании со структурированностью, целесообразностью и стимулируемостью)**

*Функцией* системы называют некий динамический процесс, происходящий на определенном *выходе* системы. Например, функцией транспортного средства является перемещение неко-



того груза в пространстве; функция светильника — освещение определенного пространства вокруг себя; функция предприятия — производство некоторой продукции (товара или услуги), удовлетворяющей определенную потребность общества; и т.д. Выходов (связей данной системы с окружающей средой) много, поэтому мы говорим об объективной *многофункциональности* любой системы.

Связь *функциональности* со *структурированностью* состоит в том, что каждая *функция* системы является совокупным результатом действия всех частей системы, и этот результат зависит от *структуры* связей между частями: это может быть либо результат нелинейного, эмерджентного взаимодействия частей системы (синергетический эффект), либо проявление линейной, суммарной совокупности качеств отдельных частей системы (не-эмерджентные свойства, типа общего веса или общего объема конструкции, состоящей из частей разных весов и объемов).

Свойство функциональности самым непосредственным образом связано со свойством *целесообразности*. Прежде всего, для любой искусственной системы некоторая ее функция и есть тот целевой процесс, ради осуществления которого система создается и используется. (Напомним, что *субъективная цель* определена как *вся траектория* перехода системы от состояния «проблемная ситуация» до состояния «конечная цель»; см. параграф 2.3.) Это процесс, нужный субъекту; но чтобы реализоваться в действительности, он должен быть *объективной* функцией системы. Это позволяет говорить о *любом* реальном процессе на выходе системы как о ее *объективной цели*.

Реализовать субъективную цель можно разными способами. Иногда удастся найти естественную систему, одна из естественных функций которой идеально соответствует нашей цели, и остается только организовать ее использование (например, производство молока коровой является ее естественной функцией, но совпадает с одной из наших многочисленных субъективных подцелей, и мы включаем молочный скот как элемент в нашу искусственную систему производства молочной продукции; это же относится и к естественным источникам любых необходимых нам природных ресурсов, пищевых и промышленных, материальных и энергетических). Однако во многих случаях в природе не существует системы, обладающей нужной нам функцией в необходимой для достижения нашей цели форме. Например, птицы летают, но их нельзя запрячь, как лошадей, чтобы летать нам.

А иногда вообще не существует естественных систем с нужными нам функциями. И тогда мы пытаемся создать систему искусственную, осуществляющую нужный нам процесс. Главная трудность состоит в том, что реализовать можно не любой процесс, который стоит только захотеть (вообразить). Достижимы только те субъективные цели, которые не противоречат законам природы, т.е. могут стать объективной целью созданной вами системы.

Другим ярким проявлением связи функциональности, целесообразности и *стимулируемости* выступает процесс управления. Даже создав нужную искусственную систему и запустив ее в действие, мы сталкиваемся с тем, что работа системы происходит в постоянно меняющейся среде. Изменяются все факторы, участвующие в работе системы, и некоторые из них могут выходить из диапазона значений, допустимых для нормального функционирования системы. Такие факторы становятся *лимитирующими*, они уводят реальную траекторию системы от целевой траектории. Это требует вмешательства, принятия мер по преодолению возникшего затруднения, возврату системы к достижению цели; такие действия и называются *управлением* системой. Разные лимитирующие факторы требуют разных действий по их преодолению, что выливается в наличие разных типов управления со специфическими алгоритмами (см. параграф 4.3).

### **8.2. Стимулируемость (в сочетании с внутренней неоднородностью, структурированностью, функциональностью и целесообразностью)**

В исходном смысле *стимулируемость* означает лишь тот факт, что у любой системы в числе ее связей со средой есть такие, через которые *среда влияет на систему*, вызывая своим воздействием какие-то изменения в ее состоянии. Но для субъекта это открывает замечательную возможность *управлять* событиями в своих субъективных целях, вызывая на выходах системы нужные (целевые) процессы путем задания определенных (целенаправленных) воздействий на ее входы.

Вся человеческая практика основана на использовании этой возможности. Любые желаемые изменения реальности осуществляются нами именно путем подачи управляющих воздействий на входы управляемой системы. Однако та же практика показывает, что добиться того, чтобы на выходе управляемой системы получился именно тот процесс, который нужен, удастся далеко не всегда. В тех случаях, когда удастся определить причину за-

труднений, можно определить и способ их преодоления (такие случаи описаны в параграфе 4.3 как семь типов управления).

Естественно, появление затруднений с управлением тем более вероятно, чем сложнее управляемая система. Неудивительно, что особенно много сюрпризов преподносят управленцам *социальные* системы. В среде теоретиков управления сложными системами укоренилось даже понятие о *контр-интуитивности* поведения таких систем: они часто удивляют нас, ведут себя совсем не так, как от них ожидается.

Как было показано в параграфе 4.3, разумным способом управления сложными системами является *метод проб и ошибок*. В случае управления социальной системой он часто сначала сводится к пробным попыткам найти «ключевую», «рычажную» точку в системе, воздействие на которую может привести к ликвидации возникшей проблемы. Такие точки есть среди управляемых входов системы, и проблема состоит в том, чтобы определить, какой из этих входов является рычажной точкой для решения возникшей проблемы. Вот тут-то и проявляется контр-интуитивность сложных систем (особенно типично это в управлении социальными системами): воздействие на «очевидно ключевые» регулируемые параметры системы часто приводит совсем не к тем результатам, которые ожидалось. Примерами тому являются неудачи в управлении, провалы ряда реформ различного (в том числе — государственного) масштаба, явная неэффективность многих законов и т.п.

Конечно, главной причиной этого является именно сложность управляемой системы (в следующей главе мы обсудим вопрос о разных типах сложности). Однако большую роль играет также тот факт, что разные точки воздействия на систему имеют разный потенциал влияния на конечный результат на выходе системы. Донелла Медоуз рассмотрела двенадцать типов вмешательств в систему, которые можно производить в *социальных* системах, и упорядочила их по возрастанию эффективности, по силе изменений, производимых в системе в результате вмешательства (*Донелла Медоуз. Азбука системного мышления. М.: Изд-во «БИНОМ. Лаборатория знаний», 2011, глава 6*). Воспроизведем основные выводы этой замечательной работы.

По важности для управления ключевые точки, дающие возможность изменять состояние системы, упорядочиваются (по нарастанию «рычажного» эффекта) следующим образом.

1. Количественные, числовые показатели: переменные и константы.

2. Запасы материальных ресурсов.
  3. Структура потоков ресурсов.
  4. Запоздывания в контуре управления.
  5. Отрицательные обратные связи.
  6. Положительные обратные связи.
  7. Информационные потоки.
  8. Правила мотивации людей (поощрения, наказания, ограничения).
  9. Самоорганизация.
  10. Цели системы.
  11. Система взглядов и понятий (парадигма).
  12. Расширение мировоззрения (выход за пределы парадигмы).
- Опишем вкратце каждый пункт из этого перечня.

1. *Количественные параметры потоков ресурсов.* Опыт работы с простыми (техническими) системами подсказывает, что поведение системы можно изменить в нужную сторону простым поворотом краника, регулирующего поток ресурса между какими-то частями системы. И в управлении социальными системами подавляющее большинство споров о выборе конкретного воздействия на систему ведется вокруг того, какие значения придать числовым параметрам потоков ресурсов. Однако в сложных системах (из-за многочисленности разных факторов, в совокупности порождающих конкретное поведение системы) изменение потока ресурса в одном из каналов часто слабо влияет (а иногда вообще не влияет) на ход событий. Увеличение или сокращение численности чиновников не приводит к улучшению работы органов власти. Увеличение расходов на содержание полиции или усиление наказания за преступления не приводят к исчезновению преступности.

Не то, чтобы числовые параметры совсем не важны: в краткосрочной перспективе их изменения могут иметь существенное значение, особенно для тех, кого непосредственно затрагивает регулируемый поток. Но на поведение системы в целом это практически никогда не сказывается. Регулирование числовых параметров Донелла считает самым слабым способом управления сложной системой, и даже сравнивает его с суетой по перестановке палубных кресел на тонущем «Титанике» в надежде остановить погружение судна. Единственное условие, при котором числовой параметр потока ресурсов может стать ключевой точкой воздействия на сложную систему, состоит в том, чтобы изменение этого параметра приводило в действие какой-то из более существенных факторов в нижеследующем перечне.

**2. Емкость накопителей ресурсов и величина накопленных запасов.** Иногда проблема состоит в том, чтобы сохранить устойчивое функционирование системы при резких колебаниях входных и выходных потоков ресурсов. Тогда ключевой точкой становится наличие резервуара для накопления ресурсов и объем запасов в нем. Накопление ресурса позволяет не снижать производство при спаде потребления его продукта, и наоборот, наличие запасов позволяет не снижать потребление продукта при сокращении его поступления. Накопитель ресурса играет стабилизирующую роль, смягчает влияние колебаний потоков ресурса на работу системы; поэтому накопитель иногда называют «буфером». Поэтому и создаются склады и резервуары в производственных, торговых, транспортных, энергетических, гидротехнических и финансовых системах. Отказаться от расходов на сооружение и содержание резервуаров можно только при обеспечении стабильности потоков ресурсов, как это имеет место при внедрении системы «поставки точно в срок» (*just in time inventory*) в строительстве, когда нужные детали возводимой конструкции поступают на стройку именно к моменту их монтажа.

Емкость накопителя является ключевым параметром системы в меняющейся среде, однако этот параметр трудно поддается изменениям: обычно резервуар — это громоздкое физическое сооружение (плотина водохранилища, складское здание). Поэтому этот параметр задается лишь в момент проектирования и создания всей системы, и если такая необходимость возникает позже в процессе функционирования, то приходится перестраивать систему физически (как, например, при строительстве автомобильных парковок в крупных городах). Поэтому буферы в списке ключевых точек относятся к важным для стратегического управления, но к малоперспективным для оперативного управления.

**3. Структура потоков ресурсов.** Функционирование системы обеспечивается путем транспортировки необходимых ресурсов от одной части системы к другой. Характер функционирования системы в сильной степени зависит от того, как организован процесс транспортировки ресурсов между всеми частями в системе. Большое значение имеет правильное осуществление каждого отдельного потока между конкретной парой частей (определение необходимой пропускной способности каждого канала, возможность регулирования скорости потока в нем и т.п.). Но не меньшее значение имеет и *структура всей сети* каналов.

В Венгрии дорожная сеть создана так, что при поездке из одной части страны в другую, приходится проезжать через столичный Будапешт; это создало множество проблем, которые не разрешаются только регулированием движения транспорта. Не случайно в последние годы междугородные трассы в России строятся с объездом населенных пунктов. В Институте Рокки Маунтин (США) добились удивительно сильного снижения энергопотребления в зданиях института только за счет изменения структуры отопительной системы (спрямили лишние колена трубопроводов, изменили в нужную сторону сечения некоторых труб). Эффективность работы многих управленческих учреждений заметно повышается за счет оптимизации структуры документооборота в них.

Структура потоков в системе может сильно влиять на поведение системы, и поэтому отнесена к ключевым точкам. Однако из-за того, что изменение физической структуры сети потоков материальных и энергетических ресурсов почти всегда связано с капитальным строительством, учет этого фактора предпочтительно осуществлять на этапе проектирования всей системы.

**4. Запаздывания: задержки реакции управляемой и управляющей систем.** Все реальные системы инерционны: при поступлении некоторого воздействия на вход системы, становление соответствующего нового выходного состояния наступает лишь через некоторое время, продолжительность которого определяется инертностью системы («*постоянная времени*», «*период становления*», «*время запаздывания*», «*задержка*»). Этот факт приобретает особое значение в процессах управления, весь смысл которых заключается в выработке управляющей системой воздействий на управляемую систему в ответ на происходящие изменения в управляемой системе и (или) в окружающей среде. Очевидно, что результат управления весьма существенно будет зависеть от соотношения скорости происходящих перемен и скоростей реакции обеих систем.

Разнообразие итоговых процессов в системе управления весьма велико: малейшие изменения в соотношении скоростей реакции могут привести к изменению характера всей динамики процесса. Решение динамических уравнений системы в теории автоматического регулирования демонстрирует это многообразие, охватывающее варианты от плавных процессов, различных затухающих и нарастающих колебаний, до изменений катастрофически разрушительных.

Иногда и без математического анализа ясно, каковы последствия задержек в контуре управления. Ясно, что управляемая система не может реагировать на изменения, несоизмеримые с ее постоянной времени. Например, в 70-х годах прошлого века академик В.М. Глушков бился за компьютеризацию управления экономикой СССР, считая главной причиной трудностей централизованного планирования народного хозяйства запаздывание в цепи обратной связи: Госплан успевал формировать межотраслевой баланс производимой и потребляемой в стране продукции только с задержкой в 3—4 года. Другой пример дает электроэнергетическая система любой страны. Электростанция строится несколько лет, и дает энергию проектной мощности несколько десятилетий. При такой задержке невозможно отслеживать колебания текущей потребности в электроэнергии. Поэтому энергетика любой страны мира испытывает длиннопериодные колебания между ее перегрузкой и недогрузкой.

Задержки на всех этапах управленческого цикла относятся к мощным ключевым точкам. Главная проблема при этом заключается в правильном выборе направления и величины изменения задержек. Однако существуют системы, в которых изменять величину запаздывания очень трудно или даже невозможно. Например, нельзя ускорить развитие ребенка, или прирост леса на деляне леспрохоза, восстановление популяции промысловых рыб и т.п. Трудно поддаются ускорению строительство крупных объектов, разработка новых лекарств, подготовка высококвалифицированных специалистов, доведение инновационной идеи до коммерциализации и т.д.

**5. Отрицательные обратные связи.** Мы уже установили, что процессы на выходах системы определяются воздействиями на ее входах и ее *структурой*. В стремлении избавиться от нежелательного поведения системы и получить на выходе нужный процесс, мы ищем в структуре системы рычажную (ключевую) точку, воздействие на которую обеспечит целевой результат. К числу таких элементов структуры относятся петли обратных связей. Во многих ситуациях именно обратные связи оказываются мощными ключевыми точками воздействия.

Их механизм действия заключается в том, что сигнал, отправленный некоторым элементом по выходному каналу другому элементу, переправляется дальше другим элементам по сети каналов, и в структуре сети существует такая цепочка связей, которая, начавшись с первого элемента, замыкается в конечном счете на нем же (отсюда и название — *обратная связь*).

При этом возможны два варианта: а) вернувшийся сигнал пришел в той же полярности («в фазе»), что и отправленный, и при их сложении (без задержки) произойдет усиление исходного изменения (этот вариант называется *положительной обратной связью*); б) вернувшийся сигнал поступил в противоположной полярности («в противофазе»), и при его сложении с исходным произойдет ослабление изменения (название этому — *отрицательная обратная связь*). Оба варианта могут использоваться для управления, — естественно, в различных целях.

Отрицательная обратная связь используется в тех случаях, когда требуется удержать систему в заданном целевом состоянии или на заданной целевой траектории, несмотря на внешние факторы, отклоняющие систему от заданной цели. Отрицательная обратная связь гасит эти отклонения, из-за чего ее иногда называют «стабилизирующей», «балансирующей», «гасящей». Алгоритм использования отрицательной обратной связи для управления описан в параграфе 4.3; устройство, реализующее этот алгоритм, называется *регулятором*. Рычажным усилием может быть как создание недостающей петли обратной связи, так и изменение каких-то операций в уже существующем регуляторе.

Отрицательная обратная связь является мощной ключевой точкой. Она присутствует во многих искусственных и естественных системах. Примерами служат различные системы автоматического регулирования (термостат, холодильник, стабилизаторы тока или напряжения, автопилот, регулятор Уатта и т.п.); иногда роль регулятора исполняет человек (шофер, пилот, станочник) или целая организация (законодательный орган, органы исполнительной власти), или специально созданная система отношений в обществе (рыночная экономика, выборность органов власти); обратные связи играют огромную роль в существовании живых организмов, обеспечивая их жизнеспособность в меняющихся внешних условиях (системы адаптации, иммунная система, условные рефлексы).

При выборе отрицательной обратной связи в качестве ключевой точки для изменений в сложной системе, необходимо иметь в виду ряд сопутствующих особенностей и трудностей в реализации этой возможности.

Во-первых, регулирование может компенсировать отклонения от целевой траектории лишь в определенных пределах. Отклонения могут быть столь сильными и быстрыми, что регулирование просто не в силах их уменьшить. Откройте окна в помещении,



и кондиционер не сможет сдерживать комнатную температуру в норме. Попади автомобиль на гололед, и ничто не удержит его на дороге. Взбунтуйся толпа, и полиция не сможет навести порядок. Темпы заготовки древесины, превышающие скорость восстановления леса, приводят к гибели лесов.

Во-вторых, не надо забывать о контр-интуитивности сложных систем. Нередко даже правильно найденную рычажную точку начинают стимулировать в неверном направлении. В качестве примера Донелла Медоуз приводит нередко ошибочные правительственные меры по регулированию финансов (цен, налогов, субсидий) в рыночной экономике.

В-третьих, в системе может существовать много разнообразных петель обратной связи, и стимулируя одну из них, следует учесть, как это скажется на других. Например, некоторые циклы большинство времени бездействуют, как аварийные системы на атомных электростанциях, как средства пожаротушения в зданиях, или как наша способность потеть, или дрожать ради регулирования температуры нашего тела. Серьезной ошибкой является избавление от таких аварийных механизмов из-за их дороговизны и редкой надобности. На коротком отрезке времени вред от этого не виден, но в долгосрочной перспективе мы резко понижаем жизнеспособность системы.

В качестве удачных примеров усиления отрицательных обратных связей в социальных системах, Д. Медоуз приводит профилактическую медицину, физическую культуру, качественное питание, мониторинг управляемых процессов, налоги на загрязнение окружающей среды, адекватные наказания за правонарушения и т.п.

**6. Положительные обратные связи.** Результатом действия положительной обратной связи является резкое усиление начавшейся тенденции в поведении системы. Чем больше людей заболевает заразной болезнью, тем больше людей заражается ею, — так развиваются эпидемии. Чем больше денег на вашем счету, тем больше наберет сумма процентов. Чем больше быстрых нейтронов в радиоактивной массе вещества, тем больше ядер они разобьют на новые нейтроны, — так развивается цепная реакция, вплоть до взрыва атомного реактора или ядерной бомбы.

Сознательно используют положительную обратную связь в качестве ключевой точки в тех случаях, когда требуется привести систему в неравновесное, неустойчивое состояние, или вообще раз-

рушить ее. Если не ограничить положительную обратную связь, система «пойдет вразнос», и разрушит себя (примеры — взрывное оружие; распад социальных систем, от семей до империй; вымирание целых видов животных и растений).

Ограничить ее действие можно разными способами. Один способ — подключить к процессу отрицательную обратную связь. Результат зависит от того, чего вы хотите добиться, и как вы подключите отрицательную обратную связь. Иногда нужно вообще заблокировать действие положительной связи, применив более сильную отрицательную (как, например, прививки и перекрытие каналов заражения могут остановить эпидемию; или антикризисные мероприятия в менеджменте; введение прогрессивного налога; или нажатие на тормоза в опасно ускоряющейся машине).

В некоторых случаях желательно не полностью ликвидировать действие положительной обратной связи, а поддерживать некоторое неравновесное состояние системы. Тогда отрицательная обратная связь вводится в такой пропорции с положительной, чтобы система постоянно удерживалась в нужном неравновесном состоянии (примеры: автоколебательные системы — генераторы колебаний; турбины электростанций; моторы, двигатели; сердечнососудистая система животных). Другой способ — ослабить саму положительную связь (например, не жать на тормоза, а сбросить газ; снизить темпы роста населения и экономики; ограничить темпы потребления возобновляемых ресурсов).

Особый интерес вызывает случай, когда положительная обратная связь приводит систему в хаотическое состояние, — бурное, непредсказуемое, неповторимое, но все же протекающее по своим внутренним закономерностям. Этот вопрос мы рассмотрим позднее, в разделе о типах временных изменений в системе.

**7. Информационные потоки.** Ключевыми точками являются те элементы системы, воздействие на которые приводит к желаемым изменениям в поведении системы. Понятно, что разным проблемам могут соответствовать разные ключевые точки. Выше были рассмотрены возможности использования в качестве ключевых точек разных элементов *физической* структуры системы: числовых параметров, объемов накопителей материальных ресурсов, каналов транспортировки ресурсов, различных элементов конфигурации связей в сети этих каналов и т.д.

Но, кроме потоков физических ресурсов, в системах большую роль играют потоки *информации*, и чем сложнее система, тем

значительнее роль информации, становясь доминирующей в системах *социальных*. Поэтому элементы *информационной структуры* системы часто оказываются мощными рычажными точками воздействия на систему.

В полной аналогии с физическими точками, в информационной сети рычажной точкой может оказаться любой ее элемент, и проблема состоит в том, чтобы определить, какой из них является ключевым для нашей конкретной ситуации, — запас информации в памяти, или пропускная способность какого-то канала связи, или структура сети каналов связи. И часто самыми мощными точками воздействия оказываются *информационные обратные связи*.

Рассказывают, что в Голландии есть такой квартал одинаковых домов, единственным различием между которыми является то, что электросчетчик в одних домах установлен в подвале, а в других — прямо в прихожей, где жильцы могли постоянно видеть, когда они расходуют энергии больше, а когда — меньше. В домах со счетчиком на виду потребление электричества было на 30% меньше.

Это яркий пример весьма чувствительной рычажной точки в информационной структуре системы. Здесь не корректируется параметр, не усиливается или ослабляется существующая связь, а создается новая петля *информационной* отрицательной обратной связи.

Другой наглядный пример дает требование правительства США (1986), чтобы каждая фабрика, загрязняющая воздух вредными дымами, ежегодно публиковала отчеты об этом. С этого момента каждый мог точно узнать, что извергается из заводских труб в городе. Не было ни запрета на выбросы, ни штрафов, ни введения «допустимых» норм на выбросы; было только информирование общества. Но к 1990 г. выбросы упали на 40%. А одна химическая компания, попавшая в список «первых десяти загрязнителей», снизила свои выбросы на 90%, лишь бы выйти из этого списка.

Отсутствие информационной обратной связи является очень частой причиной многих бед в системе. Создание соответствующего потока информации бывает очень эффективным вмешательством, причем, более простым и дешевым, чем переделка физической структуры системы. Однако при этом важно ввести недостающую обратную связь в нужном месте и в нужной форме.

Иллюстрацией могут служить примеры преодоления «трагедии общин» в промышленном рыболовстве и в водоснабжении.

«Трагедия общин», — это явление истощения запасов возобновляемого ресурса, когда общий ресурс потребляется всеми членами общины, причем каждым индивидуально и бесконтрольно.

Трагедия, постигшая мировую рыбодобывающую отрасль, привела к исчезновению многих видов промысловых рыб. В результате совершенствования средств локации рыбных косяков в океане и создания высокоэффективных рыболовецких сетей, суда стали отлавливать косяки практически полностью. А причиной трагедии стало отсутствие отрицательной обратной связи от состояния рыбной популяции к инвесторам наращивания мощностей рыболовецкого флота. Вопреки распространенному мнению, *цена* на рыбу не обеспечивает этой связи: чем меньше становится улов рыбы, тем выше становится ее цена, и тем прибыльнее ее вылавливать. Это положительная обратная связь, ведущая к катастрофе.

Другим примером является трагедия пользования общим колодезем. Недостаточно проинформировать всех пользователей скважины, что уровень грунтовых вод падает. Это может спровоцировать гонку, стремление откачивать воды больше соседей, пока вода не кончится. Правильнее будет установить цену на воду, растущую тем больше, чем больше скорость выкачивания воды превышает скорость ее естественного притока.

У многих людей существует стремление избегать ответственности за свои решения. Поэтому в социальных системах так часто не хватает каналов обратной связи; поэтому эти ключевые точки так популярны у простых людей и так не любимы властями. И когда удастся склонить власти к открытию канала обратной связи или сделать это в обход властей, в системе происходят большие перемены. Вспомните доклад Хрущева о культе личности, гласность Горбачева, Уотергейт Никсона, или опубликование секретных правительственных документов Ассанжем, Навальным и Сноуденом.

**8. Нормы и правила функционирования субъектов в социальной системе.** Все процессы в системах протекают, следуя определенным природным закономерностям. Отношения между частями системы реализуются потоками материальных, энергетических и информационных ресурсов. В естественных системах они устанавливаются по объективным законам природы. В технических системах они проектируются конструктором с ориентировкой на реализацию субъективной цели, но с учетом законов природы. В социальных системах информационные отношения между

субъектами устанавливаются самими субъектами в виде принятых в обществе норм и правил, — этических и моральных норм; юридических законов, правил, правовых ограничений; властных отношений с соответствующими формами мотивации подчиненных при управлении, — разовыми факторами типа поощрения (воспринимаемого как удовольствие или даже наслаждение) или наказания (вызывающего страдания), либо факторами, действующими постоянно, в виде ограничений (принуждения к определенным стандартам поведения).

Поскольку структура связей в системе определяет ее эмерджентные свойства, то вмешательство в информационные отношения в социальной системе, изменение норм и правил поведения людей, — являются чрезвычайно сильной рычажной точкой. Когда Горбачев, провозгласив перестройку, изменил социально-экономические правила, страна изменилась буквально до неузнаваемости. Однако следует иметь в виду контр-интуитивность сложных систем: вряд ли Горбачев сам ожидал того, что произошло. Да и сейчас многие реформы проводятся без необходимой осторожности. Обсуждая эту тему, Д. Медоуз, в частности, пишет: «Когда мне объяснили, что такое новая система мировой торговли, ВТО, моя системная интуиция забила тревогу. В этой системе правила создаются корпорациями и применяются корпорациями на благо корпораций. В этих правилах практически отсутствует какая-либо связь от любой другой части общества. Фактически вся деятельность руководства этой организации закрыта даже для прессы (нет обратной связи). ВТО вовлекает государства в петли положительной обратной связи, заставляя их соревноваться в ослаблении социальных и экологических гарантий ради привлечения инвестиций в корпорации. Все это ведет к раскручиванию циклов «успех к успешным» до тех пор, пока они не сконцентрируют огромную власть и не создадут глобальную систему централизованного планирования, которая в итоге все и разрушит».

**9. Самоорганизация.** Ключевой точкой может служить любая особенность системы, поддающаяся воздействию, которое приводит к изменению всей системы. До сих пор мы рассматривали возможности использовать в качестве рычажных точек отдельные элементы состава и структуры конкретной системы. Но можно рассмотреть и возможность влияния на течение процессов, происходящих даже не с отдельной системой, а с целой совокупностью систем.

Замечательным явлением в мире *живых* и *социальных* систем является способность популяции (макросистемы, совокупности

однотипных систем) неограниченно продлевать свое существование, несмотря на ограниченность времени существования каждой особи, входящей в популяцию, и несмотря на происходящие изменения условий существования в среде ее обитания. Это явление основано на двух особенностях популяции:

1) ее способность к воспроизводству своих компонентов, размножению, обеспечивающая популяции возможность не исчезнуть из-за непреодолимой смертности каждой из входящих в нее особей;

2) ее способность выживать в условиях, непригодных для жизни некоторых ее особей. Это достигается за счет *разнообразия* качеств разных компонентов популяции, благодаря чему в популяции могут оказаться особи, выжившие в невыносимых для других условиях, и впоследствии передающие следующим поколениям свои качества, способствующие выживаемости.

Это макросистемное свойство в биологии называется *эволюцией*, в сельском хозяйстве — *селекцией*, в экономике — *техническим прогрессом*, в политике и социологии — *социальным развитием*, в системологии — *самоорганизацией*.

В силу растянутости смены поколений во времени, самоорганизация как таковая может служить ключевой точкой для долгосрочного, стратегического управления *макросистемой*. Однако в процессе саморазвития макросистемы важную роль играют и быстрые, скачкообразные изменения в ее микросистемах: мутации в индивидуальных хромосомах, открытия в науке, инновации в экономике, революции в государствах, изобретения в технике, преобразования в организациях. При определенных условиях эти процессы тоже могут служить ключевыми точками для управления *макросистемой* (как, например, в селекционной работе по выводу новых сортов растений, или при осуществлении государственного переворота).

Ключевыми точками в управлении макросистемой могут служить обе составляющие самоорганизации: самовоспроизведение и естественный отбор. Например, в управлении государством стратегически важным является «сохранение народа», — многочисленные и разнообразные меры по самовоспроизведению *численности* населения. Однако для устойчивого развития этого мало: необходимо обеспечить еще и *разнообразие* микросистем в государственной макросистеме.

В отличие от биологов и экологов, понимающих ключевое значение биологического разнообразия на всех уровнях иерархии

живых систем, и заботящихся о сохранении этого разнообразия, в области политики отношение к разнообразию культур разных субъектов размыто на шкале толерантности, и часто смещено в сторону нетерпимости. Хотя поощрение разнообразия, изменчивости, склонности к экспериментированию является средством стратегического обеспечения устойчивого развития, в политике оно обычно воспринимается как потворство беспорядку и утрата контроля. И рычаг давится в неверную сторону: культурное, социальное, рыночное, да и биологическое разнообразие старательно изничтожается. Возможно, причина этого кроется в том, что в каждой культуре встроена вера в превосходство своей культуры над другими. Но при доминировании одной-единственной культуры устойчивость системы неизбежно снижается. И мы оказываемся свидетелями и участниками исторического процесса постепенного вымирания монокультурных социальных систем, и одновременного роста и усиления систем, провозглашающих равноценность и равноправие каждого, — сообществ, толерантных к различию культур всех субъектов.

**10. Цели и целеполагание.** Ключевые точки — это различные особенности системы, воздействуя на которые, можно изменить выходное состояние всей системы в желаемом направлении. Другими словами, это *управляемые входы* системы. Потенциал, сила влияния каждой точки на производимые изменения различен, и в нашем описании рычажных точек они перечисляются в порядке возрастания их «мощности». Потенциал воздействий на физические «точки» слабее, чем у информационных «точек». Но все они используются для одного: добиться, чтобы на *выходе* системы реализовался желаемый процесс, последовательность желаемых состояний системы, завершающаяся достижением конечного желаемого состояния. Описание (модель) этого процесса является *субъективной целью системы* (см. параграф 2.3, свойство *целесообразности*).

Довольно часто оказывается, что недовольство текущим ходом событий вызвано не отклонениями от целевой траектории, а тем, что сама цель стала неудовлетворительной. В таком случае самой мощной рычажной точкой становится *цель* системы, и управляющим воздействием является процесс смены цели, — *целеполагание*. Остальные точки — физические запасы и потоки, циклы обратной связи, информационные потоки, да и самоорганизующееся поведение, — будут использоваться уже для реализации новой цели системы.

Как и в управлении через другие точки, в процессе целеполагания (разработки новой цели) могут приниматься неверные решения, — выдвигаться ошибочные цели. Несколько обстоятельств тому причиной.

Во-первых, может оказаться, что предлагаемая субъективная цель в принципе недостижима, поскольку она противоречит законам природы. Технологическим примером является цель создания вечного двигателя; а в истории социальных систем, из-за их колоссальной сложности, многие идеальные цели оказывались утопичными.

Во-вторых, поскольку мир является бесконечной иерархической совокупностью взаимодействующих систем, подсистем и надсистем, каждая из которых обладает собственными целями, то вся совокупность их целей образует иерархическую древовидную сеть целей, в которой каждый фрагмент является одновременно целью системы и подцелью надсистемы, в которую система входит как часть. В результате целеполагающий субъект может ошибиться этажом дерева, и определить новой целью *средство* достижения действительной цели, — ее подцель. Урон от этой ошибки усугубляется еще и тем, что при этом игнорируются другие подцели, без осуществления которых истинная цель не может быть реализована. Неудачи многих нововведений связаны именно с такой ситуацией (принуждение ученых в советские времена самим заниматься внедрением в промышленность своих научных результатов; недавнее провозглашение целью развития экономики страны — модернизации пяти высокотехнологичных производств, без привязки к конкретным секторам экономики и без внимания к другим необходимым подцелям; переименование ГАИ в ГИБДД, милиции в полицию; введение модной одежды в армии; и т.п.).

В-третьих, устойчивое функционирование системы обеспечивается необходимым согласованием действий подсистем: каждая подсистема играет определенную роль, реализует отведенную ей цель, — одну из множества подцелей глобальной цели системы. К тому же интенсивность выполняемой подфункции должна находиться в некоторых пределах, отвечающих успешному функционированию всей системы. Однако в живых, и особенно в социальных системах подсистемы имеют собственные цели, выходящие за пределы, необходимые для системы, и, естественно, стремятся осуществлять их в первую очередь. Это вносит в систему неустойчивость, что должно учитываться при вы-



работке новой цели системы (и новых подцелей для подсистем). Например, первичной, исходной объективной целью живых и социальных популяций является цель выживания, осуществляемая непрерывным ростом популяции. Цель корпораций — неограниченно увеличивать свою долю мирового рынка (с помощью ВТО); цель раковой опухоли — расти, оттесняя и замещая здоровые клетки. Управление достижением цели системы должно включать меры по удержанию баланса между всеми целями подсистем (при этом жесткое иерархическое управление в социальных системах, «вертикаль власти», есть отход от системного учета собственных целей частей системы).

**11. Парадигма (общая картина устройства мира).** Любая деятельность человека основана на использовании моделей, содержащих информацию, необходимую для этой деятельности (см. параграф 3.1). Для управления техническими системами достаточно сведений только из тех частных областей знаний, которые использовались при создании этих устройств, и часто хватает даже совсем небольшой части этих сведений. Например, для управления автомобилем водителю вовсе не нужно знать все, что требовалось знать его конструкторам: достаточно лишь того, что необходимо для успешного вождения машины. Со сложными бытовыми приборами (телевизор, компьютер и т.п.) управляют даже дети. Однако по мере усложнения управляемой системы и целей управления, объем необходимых знаний возрастает, а когда дело доходит до управления социальными и экологическими системами, то требуются сведения не только о системе, но и об окружающей ее природной и искусственной среде, и (что особенно важно!) об отношении самого управляющего субъекта и к системе, и к среде, и в том числе — *к другим субъектам*. Иными словами, необходимы модели того, как устроена реальность, нужны также модели постановки проблем и модели способов их решения. Эта часть культуры субъекта, опорная (для управления) картина мира, называется *парадигмой*.

Парадигма является прежде всего совокупностью убеждений субъекта о том, как устроен мир. Большая часть этих убеждений основана на верованиях, субъективных предположениях (египетские пирамиды, культовые усыпальницы и жертвенные сооружения древних народов сооружались потому, что люди верили в загробную жизнь; небоскребы возводятся потому, что мы верим, что земля в центре города чрезвычайно дорога). Некоторые верования опровергаются наукой, и тогда происходит смена парадигмы (Коперник

и Кеплер разрушили веру, что Земля — центр вселенной; Галилей — что Земля неподвижна; Дарвин — веру в божественное происхождение и окончательное совершенство человека; Эйнштейн — убеждение о разной природе вещества и энергии, Маркс — веру в нематериальность природы власти).

В парадигму также входят общепринятые, исторически установившиеся в сообществе субъектов убеждения о нормах взаимоотношений между ними: понятия о добре и зле, о прекрасном и безобразном, о правах и нравах. Часть из них являются результатом сугубо условного общественного соглашения (например, главное различие между разными идеологиями заключается в вере, какое отношение к другим, отличным от тебя субъектам является «правильным»). Некоторые из этих убеждений основываются на опыте (моральные и этические нормы основаны на подкрепляемом практикой убеждении, что их соблюдение — благо для общества, а нарушение — зло).

Парадигма определяет в создаваемой системе все: парадигма диктует, каковы должны быть цели системы, ее состав и структура (накопители и потоки материальных ресурсов, обратные связи, информационные связи). Потенциал парадигмы как ключевой точки огромен: при смене парадигмы система полностью преобразуется. Особенно важно то, что проблемы, неразрешимые в рамках одной парадигмы, могут быть решены только при переходе к другой.

Но, хотя смена парадигмы не требует затраты физических, финансовых и даже временных ресурсов, субъекты — индивиды и социумы — сопротивляются вызовам своей парадигме сильнее, чем любым другим изменениям: ведь это — кардинальная смена *культуры субъекта*. Общество часто избавляется от тех, кто посягает на его традиционную парадигму (Иисус Христос, Джордано Бруно, Мартин Лютер Кинг и т.п.). В параграфе 5.1 описан происходящий процесс смены парадигм в менеджменте. Переход от одной парадигмы к другой происходит и в других сферах культуры человечества. В сфере образования технократический подход, акцентирующий на массовой подготовке профессиональных кадров для общества, сменяется на гуманистический подход, делающий акцент на раскрытии индивидуального потенциала врожденных способностей и талантов каждого человека. Эволюцией политической парадигмы является дрейф социально-экономических укладов социумов от авторитарных систем к либерально-демократическим. Процесс смены парадигм социума

протекает медленно и с трудом, по мере осознания обществом практических свидетельств неэффективности старой парадигмы.

**12. Расширение мировоззрения: Выход за пределы любой парадигмы.** Еще более сильный рычаг воздействия на систему, чем изменение взглядов и убеждений, является осознание того, что сами парадигмы являются всего лишь *моделями мироустройства*. *Никакая теория* не может претендовать на абсолютную верность: все, что мы знаем о мире, на самом деле лишь малая, крайне ограниченная часть сведений о бесконечно разнообразной и удивительной Вселенной. Любая парадигма эффективна (адекватна, позволяет успешно достигать цель) лишь при определенном сочетании цели действия и объективных условий ее реализации. Поэтому из всех парадигм следует выбирать ту, которая более других подходит для достижения цели *в данных условиях*. Например, принцип единоначалия — самый эффективный способ коллективного решения проблем в условиях войны и чрезвычайных ситуаций; принцип приоритета групповых интересов — самый эффективный способ добиться превосходства одной группы над другими; принцип приоритета каждого демонстрирует свои преимущества в росте и развитии удовлетворения всех пяти потребностей людских сообществ — в производстве благ (экономика), знаний (образование и наука), управления (власть, политика), удовольствий (эстетика в физических и эмоциональных действиях человека), ценностей в межличностных отношениях (этика). Однако при этом остаются вопросы о том, соответствует ли сама преследуемая *субъективная* цель *объективным* законам природы и общества (см. параграф 1.4).

### **8.3. Изменчивость системы со временем (в сочетании с внутренней неоднородностью, структурированностью, функционированием и развитием системы)**

Обсуждение динамики процессов на входах и выходах системы является рассмотрением изменений, происходящих *вовне* системы, хотя и непосредственно на ее границах с окружающей средой. Однако во многих ситуациях взаимодействий с системой, субъекту необходимо знать, что и как происходит *внутри* системы, «как система работает». Это особенно характерно для тех ситуаций управления, когда проектирование управляющего воздействия опирается на то, как именно будут протекать взаимодействия между частями системы в результате воздействия. Этой тематике и посвящен данный, третий раздел системной динамики.

Разработка управленческого решения направлена на поиск такого воздействия на систему, которое приведет к желаемому ее отклику, т.е. к реализации целевого процесса на выходе системы. При такой постановке вопроса дело сводится к нахождению «рычажной» точки воздействия на систему и попытке предсказать, какое именно воздействие на эту ключевую точку приведет к желаемому поведению системы. Для этого обычно требуется информация о том, какие процессы протекают в системе, т.е. информация, содержащаяся в статических и динамических моделях состава и структуры управляемой системы.

Для искусственных, «жестких» (и, в особенности, технических) систем такая информация представляется в виде полной *структурной схемы* (объединения моделей состава и структуры), т.е. той технической документации, которая создается на этапе проектирования и построения системы. Какая бы проблема ни возникла в такой системе, в ее структурной схеме можно найти ту часть информации, которая необходима для решения именно этой проблемы.

С «мягкими» (особенно с биологическими, социальными и экологическими) системами дело обстоит совершенно иначе: *вся* информация о системе воплощена только в самой системе, и часто ту часть информации, которая понадобится в данной ситуации, придется извлекать из самой системы. При необходимости решения проблемы приходится строить нужные модели на основе результатов непосредственного изучения данной проблемной ситуации. Технические подробности всего процесса практического решения проблем описываются в Части 2 книги; здесь же мы остановимся только на вопросах построения *моделей функционирования* сложной системы. Эти модели позволяют продвинуться в выявлении *причин* возникновения проблемы, а это — огромной важности шаг к ее решению.

Моделирование начинается с построения модели *состава* проблемной ситуации, — составления перечня всех существенных участников (*стейкхолдеров*, см. параграф 5.3) рассматриваемой ситуации. Для иллюстрации приведем такие перечни для воображаемых ситуаций (в реальных ситуациях следует учесть значительно больше подробностей). Врач, диагностируя больного, включает в рассмотрение не только болезненную часть организма, но и состояние остальных органов пациента, и факторы его среды обитания (образ жизни, условия жизни). Бизнесмен при решении возникающих проблем учитывает не только работу своего предприятия, но и факторы внешней среды (поставщиков

и потребителей, конкурентов на рынке продукта, действующее законодательство), и интересы своих работников.

Затем следуют усилия по построению модели *структуры* ситуации, — определение существенных связей между выявленными факторами. Начинается построение графа, вершинами которого служат факторы, а дугами — связи между ними. Далее (при необходимости) эта статическая модель «оживляется»: определяется направленность влияния одного фактора на другой (на дугах обозначаются стрелки, образуя *направленный* граф); характер влияния иногда обозначается только значками «+» или «-» около стрелки, в зависимости от того, способствует или препятствует первый фактор усилению второго, либо характер влияния определяется более конкретно словами («определяет», «повышает вероятность», «хорошо / плохо для», и т.п.), такие графы называют *помеченными*, *signed graphs*; при необходимости учесть отличия между ресурсами, текущими по разным дугам, они отображаются разными цветами (появляются *раскрашенные* графы).

Трудность управления сложными системами связана с тем, что воздействие некоторого элемента на элемент, находящийся в отдаленной части структурной сети, является результатом изменения потоков, текущих по нескольким ветвям сети, причем каждая связывающая их ветвь состоит из ряда других промежуточных элементов. Построенный граф помогает понять механизм такого воздействия. Например, воздействие курения на здоровье сердца может быть отображено (конечно, приближенно) графом на рис. 8.1. Он поясняет, почему вред курения сказывается в разной степени на сердечных проблемах разных курильщиков: баланс действий промежуточных факторов для каждого организма индивидуален.

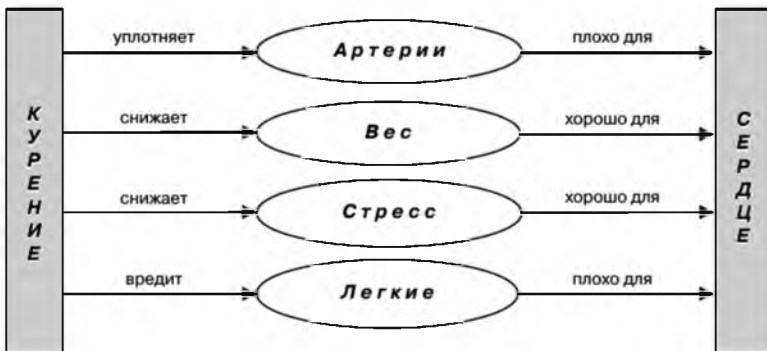


Рис. 8.1. Воздействие курения на сердце

Однако главная трудность прогнозирования последствий вмешательства в сложную систему возникает даже не из-за многочисленности и разветвленности воздействий частей друг на друга. Большое значение для того, как будут развиваться процессы в системе, имеет то, как скажется произведенное воздействие на самом изменяемом элементе. В большинстве сетей имеются не только «прямые» цепочки взаимодействий, но и цепочки «обратные», по которым воздействие через несколько шагов возвращается к исходному пункту и воздействует на него же самого, что запускает следующую итерацию воздействия на поведение системы.

Возвратное влияние может оказаться усиливающим исходное, и тогда такая *обратная связь* называется *положительной*, но может и противодействовать, ослаблять, компенсировать первоначальное изменение, и тогда она называется *отрицательной* обратной связью. Положительная обратная связь ускоренно наращивает отклонение системы от стабильного состояния, доводя ее до катастрофы, отрицательная — стремится вернуть систему в равновесие. Когда же в структуре системы оказывается несколько петель отрицательных и положительных обратных связей, поведение системы для нас, привыкших к линейным причинно-следственным связям, становится неожиданно сложным и непонятным. К тому же, сложность ситуации, отличие отклика системы на управляющее воздействие от «интуитивно ожидаемого», сильно усугубляется еще одним фактором в динамике системы, — наличием *задержек, запаздываний* между стимулами и откликами в разных частях системы. Из-за различия интервалов времени между воздействием и реакцией на него у разных компонентов системы, последствия в поведении системы от *одномоментного* управляющего воздействия растягиваются во времени, так что приходится говорить о *краткосрочных, среднесрочных и долгосрочных* результатах разового акта управления. В результате в системной динамике сложилось такое положение, что прогнозы всех последствий вмешательства в реальную систему становятся малонадежными, и управленцы всерьез говорят о неожиданности, *контр-интуитивности* поведения сложных систем.

#### 8.4. Факторы, определяющие поведение систем

Рассмотрение особенностей динамики систем привело к пониманию того, что тип поведения системы (т.е. конкретный характер ее отклика на внешнее воздействие) определяется сочетанием многих факторов. Основные из них таковы:

1) соотношения между *субъективной целью* внешнего воздействия, *объективной целью* всей системы, и собственными *целями* частей системы;

2) топология *структуры* системы: т.е. конфигурация сети связей между всеми частями системы; наличие в сети прямых и обратных связей (положительных и отрицательных) и их конкретные сочетания;

3) соотношения между скоростями *потоков* ресурсов по каналам между частями системы, пропускными способностями каналов, и объемами *запасов* ресурсов в накопителях;

4) инерционность каждой части системы (величина *задержки* ее отклика на входное воздействие); соотношения между временами *запаздывания* отклика на стимул у разных частей, особенно — у управляемой и управляющей частей;

5) выбор *«рычажной точки»*, т.е. конкретного (локального или глобального) аспекта системы, на который решено оказать воздействие;

б) выбор конкретного *вида воздействия* на ключевую точку; например, направления и величины (а иногда и конфигурации) изменения управляемого фактора.

Каждое конкретное сочетание этих факторов порождает характерный для него отклик системы на воздействие. Каждый фактор может описываться качественными и количественными индикаторами, и малейшие изменения какого-либо из индикаторов любого фактора могут привести (или не привести) к существенным отличиям в поведении системы. В связи с этим современная системодинамика нацелена на выяснение структурированности множества вариантов поведения систем (т.е. на построение различных *классификаций* процессов, происходящих в системах).

Интересные (и полезные для хотя бы частичного понимания происходящего в сложных системах) результаты получают уже при рассмотрении влияния на поведение системы сочетаний не всех факторов одновременно, а только одного—двух из них. В некоторых случаях процессы могут быть описаны количественно; в более сложных ситуациях удастся дать лишь качественное, нечеткое описание общей тенденции происходящего процесса (но и такая информация полезна в работе с системой).

Кратко обсудим выявленные типы функционирования систем.

#### **8.4.1. Потоки и запасы ресурсов**

Проще других поддаются рассмотрению процессы транспортировки ресурсов по структуре системы. Основными параметрами динамики здесь являются скорости движения ресурсов по каждому каналу (ребру графа), связывающему определенную пару элементов системы (узлов графа), и объемы (уровни) запаса ресурса, накопленные в каждом накопителе. Ограничительными параметрами являются пропускная способность канала (максимальная скорость движения ресурса по данному каналу) и емкость (максимальный объем) каждого накопителя. Процессы описываются линейными аддитивными уравнениями, знакомыми со школьных времен по задачке о бассейне с трубами, по которым вода втекает и вытекает. Сложности возникают при необходимости соблюдать определенные соотношения между уровнями запасов во всех накопителях в системе, что ставит задачу согласования скоростей всех потоков (например, задачи экономики, связанные с соотношением спроса и предложения на рынке, производства и распределения благ, притока и оттока трудовых ресурсов предприятия и т.п.). Но и эта задача не относится к числу сложных, *если в структуре сети каналов нет обратных связей.*

#### **8.4.2. Качественные модели динамики сложных систем: архетипы поведения**

Любое целенаправленное взаимодействие субъекта с системой (будь то изучение системы, конструирование новой системы или управление уже существующей) осуществляется с помощью моделей поведения системы, т.е. описания процессов, происходящих в системе в процессе взаимодействия с нею.

При управлении нам важно знать, как скажется конкретное воздействие  $x_i(t)$  на  $i$ -ый управляемый вход системы на процессе  $y_j(t)$  на  $j$ -ом ее выходе. В других случаях важно понять, почему система повела себя именно таким, а не иным образом. Какого качества информация нам нужна, о каких именно процессах и в каких именно элементах системы, — это зависит от целей субъекта. Совокупность сведений об особенностях поведения систем, моделирование (описание) различных таких процессов и составляет содержание *системной динамики.*

При работе со сложными (в особенности, с социальными) системами не всегда удается довести моделирование до постро-



ения точной, строгой, математической модели, — из-за практической невозможности учета *всех* связей между *всеми* элементами системы и окружающей средой. Однако часто на практике нам и не требуется *вся* информация об объекте; нужна лишь та ее часть, которая позволит нам добиться осуществления нашей конкретной цели.

Наглядной аналогией является моделирование одной и той же местности картами разного назначения. Для одних целей достаточно информации, представленной на глобусе; другие цели требуют более подробного отображения различных особенностей местности: появляются карты разных масштабов и назначений, — географические, административные, экологические, политические, геологические, демографические, топографические, военные, секретные и т.д. и т.п.

Такое положение присуще любым видам человеческой деятельности (и практическим, и познавательным), в том числе и системной динамике. К настоящему времени усилия по развитию теоретических моделей динамики систем интенсивно ведутся в двух направлениях: развитие количественных и качественных моделей поведения систем. Первое направление, называемое *синергетикой*, сосредоточилось на математическом описании регулярностей (*аттракторов*), возникающих в хаотическом поведении сложных нелинейных систем. Второе направление сосредоточило усилия на преодолении «контр-интуитивности» сложных систем путем выяснения того, какие особенности *структуры* системы вызывают тот или иной характер *функционального* поведения системы.

Очень немногие системы (например, клетки, размножающиеся делением) появляются сразу в совершенном для себя состоянии. Для большинства же систем жизненный цикл является периодом постепенных изменений их состава и структуры, и соответствующих изменений их функций (свойств). Изменения могут быть самые разнообразными: количественными и качественными, могут происходить в разном темпе, иметь монотонные или переменные тенденции. Часто наблюдаются процессы, являющиеся нелинейным (неаддитивным) результатом взаимодействия двух или более характеристик; и почти всегда оказывается, что такие процессы порождаются в результате действия обратной связи, а разнообразие форм нелинейных кривых связано с разнообразием комбинаций некоторого числа петель обратных связей и (или) задержек в ветвях сети связей. Различные

сочетания петель обратной связи в структуре системы порождают разные виды поведения систем. И каждая конфигурация петель в структуре системы порождает особый, присущий только ей, тип поведения системы в целом.

Фундаментальным результатом бурного развития системодинамики в 80-х годах прошлого века стало выявление характерных (различающихся количественно, но *качественно* одинаково происходящих в различных системах) типов поведения систем. В синергетике это — аттракторы, в качественной теории это архетипы. В последнем случае было обнаружено, что некоторым определенным типам поведения соответствует наличие в структуре системы определенных конфигураций петель обратной связи и определенных соотношений между задержками реакции частей на поступающие к ним воздействия. Такие качественно различающиеся классы поведения систем названы архетипами; к настоящему времени (2014) выявлено и объяснено более десятка архетипов (эту работу начал *J. Forrester*, и продолжили *J. Kennedy*, *M. Goodman*, *P. Senge*, *D. Medows* и др.). Сразу заметим, что на практике в чистом виде архетипы встречаются только тогда, когда в структуре системы действительно доминирует конфигурация связей, порождающая данный тип поведения. Степень влияния этой конфигурации на поведение системы в целом может ослабевать и искажаться по мере усиления влияния остальных компонентов структуры системы и соответствующего понижения степени доминирования данной конфигурации.

Базовыми компонентами любой сетевой структуры являются линейные цепи связей между элементами и петли обратной связи. В цепи одиночного контура обратной связи может участвовать разное число элементов системы, и связи между каждой парой элементов в этой цепи могут иметь разный характер (усиливающий — положительный, либо ослабляющий — отрицательный). Какую именно обратную связь (отрицательную или положительную) образует в итоге весь контур, состоящий из нескольких пар элементов, зависит от того, четно или нечетно количество ослабляющих связей во всей цепи: при нечетном их числе (1, 3, 5, ...) образуется отрицательная обратная связь, а при четном (0, 2, 4, ...) — положительная (рис. 8.2); в такой форме проявляется в данном случае закон диалектики «Отрицание отрицания».

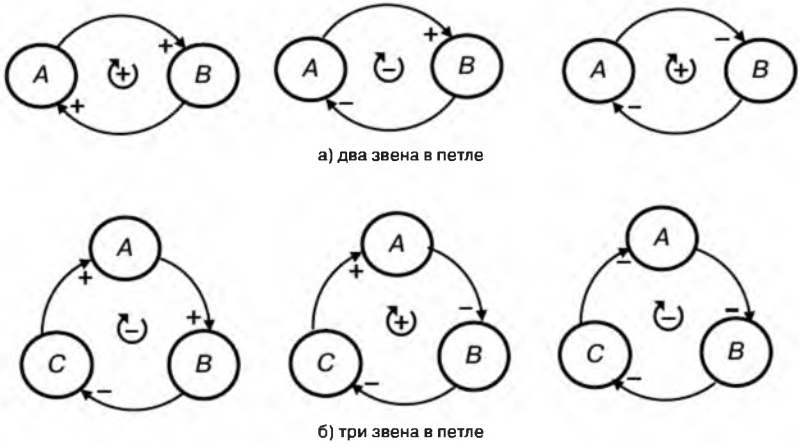


Рис. 8.2. Сочетания разнонаправленных связей в петле обратной связи

В свою очередь, в структуре системы может оказаться разное число петель обратной связи в различных сочетаниях: петли могут быть отдельными, могут иметь общие элементы с другими петлями, могут сами входить в качестве компонентов в другие петли (рис. 8.3 и 8.4) и т.д.

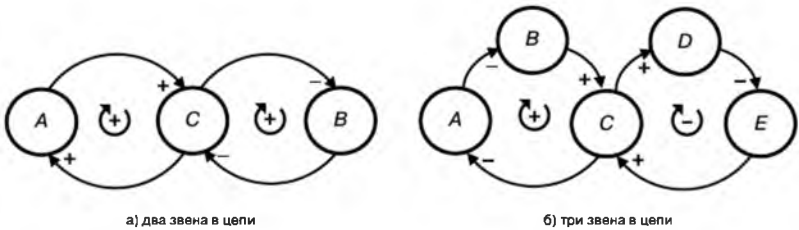


Рис. 8.3. Сочетания двух петель обратной связи с одним общим элементом

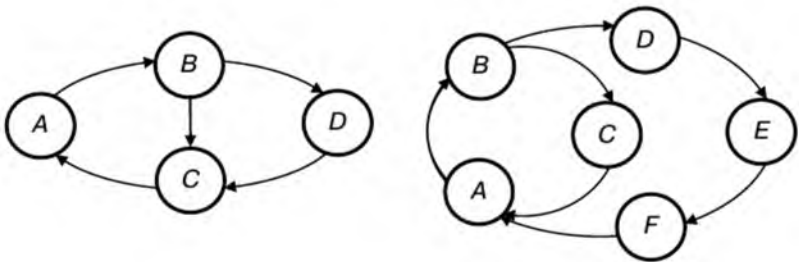


Рис. 8.4. Сочетания двух петель обратной связи с двумя общими элементами

Различные сочетания петель обратной связи в структуре системы порождают разные виды поведения систем. И каждая конфигурация петель в структуре системы порождает особый, присущий только ей, тип поведения системы в целом. Так и проявляют себя «архетипы» системной динамики.

Рассмотрение архетипов начнем с простейшего случая, — преобладания в структуре системы одной петли обратной связи.

*Архетип роста системы.* Любой (одномерный) процесс может быть представлен в виде графика зависимости интересующего нас параметра от времени. В самой замысловатой кривой можно различить «элементарные», «простейшие», однотипные участки, и начать объяснение всего процесса с объяснения происхождения конкретного его участка.

Обратимся к случаю монотонного изменения некоторой характеристики системы. Например, *линейный* рост или спад графика характерен для изменения запаса ресурса  $X(t)$  в накопителе при постоянной разности скоростей  $v_{\text{вх}} - v_{\text{вых}}$  притока и оттока ресурса:  $X(t) = (v_{\text{вх}} - v_{\text{вых}}) \cdot t$  (рис. 8.5).

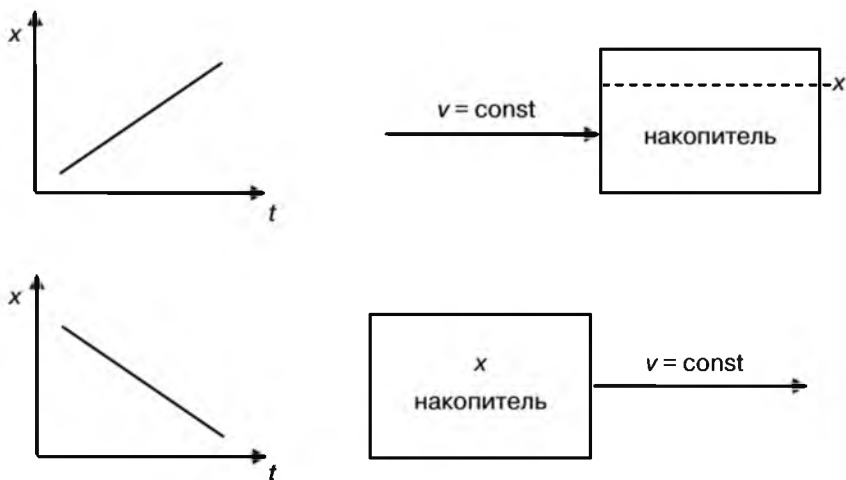


Рис. 8.5. Линейный рост или спад графика

В динамике роста систем часто встречаются случаи более быстрого, нежели линейного (т.е. прямо пропорционального времени) нарастания. Причиной этого оказывается влияние *положительной* обратной связи, приводящее к экспоненциальному росту (рис. 8.6).

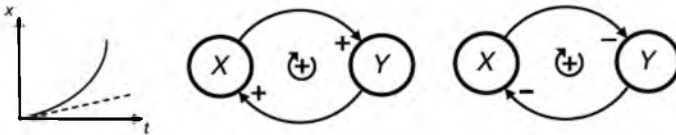


Рис. 8.6

Такое (при определенных условиях) происходит с численностью живой популяции (в том числе с населением Земли), уровнем загрязнения окружающей человека природной среды, степенью наркозависимости, эпидемиями, взрывными химическими и ядерными реакциями и т.д. Счет в банке при ежегодном начислении простых процентов (без обратной связи, только на вложенную сумму) растет с годами линейно, а при сложных процентах (с обратной связью, т.е. при начислении на основную сумму вместе с процентами прошлых лет) сумма счета растет экспоненциально. Например, при годовых 10% сумма в 10 000 руб. через 56 лет превратится в 66 000 руб. при простых процентах, а при сложных процентах — в 1 280 000 руб.

**Архетип регулирования.** Одиночный контур отрицательной обратной связи (без запаздываний!) порождает монотонное приближение значения параметра  $X$  к заданному (целевому) уровню  $X_0$ ; если начальное состояние превышает целевое, обратная связь постепенно снижает его до целевого; если начальное состояние ниже целевого, — повышает (см. рис. 8.7).

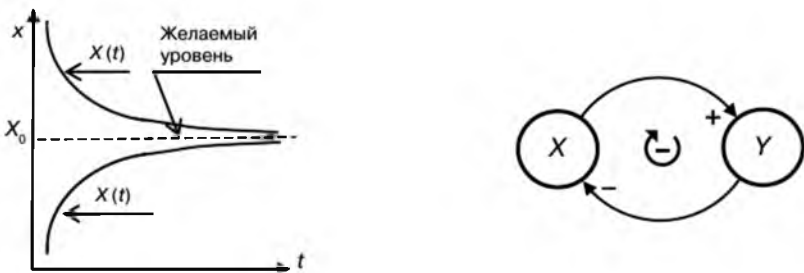


Рис. 8.7. Регулирование без запаздывания

Появление *запаздываний* в каналах связи между элементами значительно увеличивает разнообразие типов поведения системы, дополнительно порождая немонотонные (в том числе — колебательные) процессы. Например, задержка в цикле отрицательной обратной связи приводит к колебаниям из-за запаздываний регулирования управляемого параметра (рис. 8.8).



Рис. 8.8. Регулирование с задержкой

Даже в такой сравнительно простой структуре, как на рис. 8.8, характер результирующего процесса сильно зависит от соотношения задержек (инертностей) управляющей и управляемой системы. (Примерами могут служить колебания разницы между спросом и предложением на рынках многих продуктов, синусоидальный характер траектории автомобиля на дороге, колебания регулируемого параметра около целевого значения в системах автоматического управления, временные вариации численности животных популяций хищников и жертв, колебания стоимости акций на бирже и т.п.)

Рассмотрим теперь архетипы, связанные с *двумя* взаимодействующими петлями обратных связей.

*Archetype Drifting Goals («Эрозия целей»)*. Разницу между существующим и целевым состояниями системы можно сокращать двумя способами: приближая реальность к цели, и — понижая уровень целевых претензий. Последний сценарий поведения и есть данный архетип. Для него характерно, что постепенное понижение целевых установок ведет к деградации системы.

Разные (внутренние и внешние) причины могут понуждать к снижению притязаний, заставляя уделять больше внимания не тому, что хотелось бы, чтобы оно произошло (т.е. цели), а тому, чтобы что-то не произошло (т.е. понижению цели). Примеры: Люди, снижающие к себе требовательность, постепенно становятся все менее успешными. Дефицит бюджета страны ведет к кризисам ее экономики. Сокращение инвестиций в развитие фирмы фактически является формой снижения стандартов качества продукции. Ослабление экологических требований к допустимым уровням загрязнения среды снижает качество жизни в ней.



Рис. 8.9. Проблема – разница между целью и реальностью

Структура обратных связей, вызывающая данный архетип, приведена на рис. 8.9. Обратите внимание на то, что две петли *отрицательной* обратной связи образуют одну «восьмеркообразную» петлю *положительной* обратной связи (с четным числом ослабляющих звеньев в этой цепи связей), что и приводит к приближению кризиса. Наличие задержек приводит к тому, что краткосрочные меры ведут к краху в отдаленной перспективе. (Наглядная аллегория: плюхнувшись в горячую воду, лягушка мгновенно выскочит из нее; но если воду нагревать постепенно, то лягушка терпит, пока не сварится.)

**Архетип «Эскалация» (Escalation).** Если в структуре двух петель *отрицательной* обратной связи отсутствуют задержки, нарастание кризиса идет лавинообразно (из-за 8-образной петли *положительной* обратной связи). Каждая из противоборствующих сторон рассматривает действия другой стороны как угрозу себе, и еще больше усиливает свою агрессивность в ответ на усиление агрессивности соперника. Примеры: Перерастание «холодной» войны в «горячую» (как во время начала Карибского кризиса). Переход спора субъектов в судебную фазу (в частности, бракоразводные процессы). Жесткая конкуренция в бизнесе. Соперничество за влияние на начальника в бюрократических структурах. Гонка вооружений. Бескомпромиссная борьба с терроризмом.

Структура связей, ведущая события к эскалации, приведена на рис. 8.10.

Прекращение эскалации возможно либо при переходе от конкуренции к сотрудничеству в результате нахождения общей цели, охватывающей цели обеих сторон, либо при одностороннем прекращении противостояния. В противном случае конфликт переходит в непримиримую фазу.



Рис. 8.10. Архетип «Эскалация»

**Архетип «Пределы роста» (Limits to Growth).** Отдельным классом изменений считается *количественное* увеличение какой-нибудь характеристики системы (внутренней — размера, массы, числа элементов; или внешней — силы, напряжения, скорости, красоты, превосходства, власти и т.д.). Такой тип изменений называют *ростом* (этой характеристики).

Но и рост может иметь разный характер. Установлено, что ускоряющийся рост связан с действием одиночной петли положительной обратной связи (см. «Архетип роста»). Однако в реальности рост никогда не длится вечно; это бывает связано не только с ограниченностью ресурсов для роста, но и с тем, что в этом процессе участвуют другие петли обратной связи и задержки в них. Это привело к выделению еще одного типа поведения растущей системы, — архетипа «Пределы роста».

Этот архетип характеризуется тем, что ускоренный поначалу рост системы начинает замедляться и, несмотря на настойчивое продолжение успешных в прошлом усилий, совсем прекращается (наступает стагнация) или даже переходит в стадию спада (кризиса, рецессии). Типичные графики такого процесса и структурная схема архетипа (из двух *разнозначных* петель обратной связи) изображены на рис. 8.11. Препятствующие росту ограничения могут быть внутреннего и (или) внешнего, ресурсного или правового, материального или культурального происхождения. Симптомы архетипа: По-



началу — «Мы замечательно растем, нам не о чем беспокоиться». Затем — «Проблема есть, но мы ее решим, действуя, как раньше». Наконец — «Несмотря на все старания, мы все медленнее растем».

Примеры этого архетипа наблюдаются в виде соответствующего графика жизненного цикла (рис. 8.11) на всех уровнях системности. Так ведет себя кривая продаж нового продукта в экономических системах, так меняется жизненная активность любой биологической особи; такой характер носит история всех империй; именно такие прогнозы состояния мировой экономики дает «Римский клуб» (см. *Д. Медоуз и др. За пределами роста*, М., «Прогресс», 1994); «Все имеет свой конец, свое начало», — сказано поэтом.

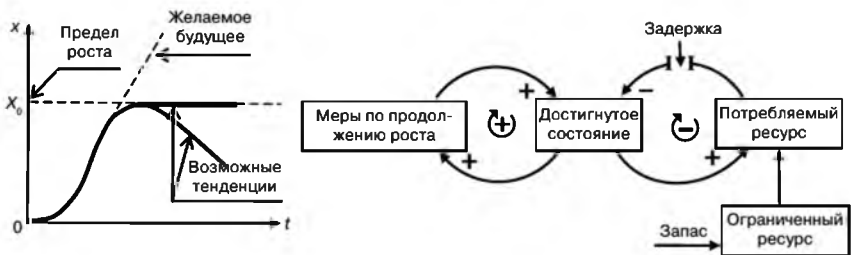


Рис. 8.11. Архетип «Пределы роста»

Причины этого архетипа поведения могут находиться как вовне, так и внутри системы, и носить разнообразный характер. Возможность отсрочить кризис или выйти на стабильное состояние заключается в установлении причин торможения роста и принятия мер противостояния им.

Например, ежегодный планируемый рост производства требует от фирмы не только соответствующего прироста материальных ресурсов, но и увеличения численности работников нужной квалификации, а время подготовки новых таких кадров намного превышает время намеченного повышения объемов производства. Если не начать подготовку кадров задолго до того, как они потребуются, спад производства неизбежен.

Другой пример дают прогнозы Римского клуба: на компьютерной модели динамики мировой экономики были просчитаны 13 сценариев, отличающиеся тем, какое сочетание факторов торможения роста регулируется (добыча природных ресурсов, загрязнение природной среды, продуктивность земель, ресурсосберегающие технологии, численность населения, объем промышленного производства, объем производства продуктов питания, ресурс

пресной воды, и др.). 12 из них отличаются только сроком наступления окончательного глобального кризиса, и лишь один обещает выход на стабильный уровень — при смене ментальных моделей (парадигмы смысла жизни), отказе от потребительского отношения к техническому прогрессу.

*Архетип «Неэффективные поправки» (Fixes that Fail).* Такого типа ситуация часто возникает при попытках исправить ухудшение ситуации некоторым способом, дающим положительный эффект лишь кратковременно, после чего ухудшение возобновляется с новой силой. Часто это бывает неожиданным; но иногда человек отдает себе отчет в негативных последствиях принимаемой меры исправления положения, однако либо желание немедленно получить облегчение превышает опасение отдаленных последствий (как при снятии сердечного приступа), либо другого выхода он просто не видит (как при стремлении увеличить продажи путем увеличения инвестиций в маркетинг за счет их снижения в развитие производства).

Знание механизма данного архетипа может помочь выйти из него, попав в него неожиданно, или даже осознанно воздержаться от вхождения в него. Характер динамики этого процесса и вызывающая его структура из двух разнотипных петель обратной связи приведены на рис. 8.12.

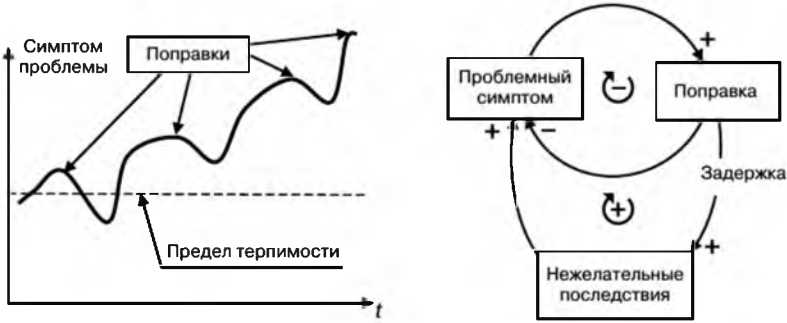


Рис. 8.12. Архетип «Неэффективные поправки»

Причиной его возникновения является то, что предпринимаемое действие имеет, наряду с желательными (быстрыми и краткосрочными) последствиями (в отрицательной петле), еще и неучитываемые негативные отдаленные последствия (на схеме это отображено присутствием задержки в цикле положительной обратной связи). В других случаях, причиной попадания в данный архетип оказывается изначально ошибочное принятие симптома про-

блемы за саму проблему, средства достижения цели за саму цель. (Например, «Проблема в том, что у нас нет (или не хватает) того-то» или «...в том, чтобы осуществить модернизацию».) Преодоление данного архетипа (как и всех остальных) может быть осуществлено с помощью технологий прикладного системного анализа (см. главу 5).

*Архетип «Успех — к успешным» (Success to Successful).* Констатируется тот факт, что из двух равных в остальном систем А и В, в соревновании побеждает та, у которой начальный ресурс больше: первый же успех А вознаграждается дополнительным ресурсом, что ведет к дальнейшему нарастанию его успеха. Структурная схема этого архетипа приведена на рис. 8.13.



Рис. 8.13. «Успех — к успешным»

**Примеры.** Поощрение успешных: усиленное внимание к тренировке перспективных профессиональных спортсменов; создание элитных учебных заведений для одаренных детей. Единственный из равновозможных порядков, общепринятый только потому, что вначале его придерживалось большинство: направление движения часовых стрелок, разные направления письма у европейцев (слева направо), арабов (справа налево), японцев (сверху вниз). Принцип банковских финансов «Деньги к деньгам».

Однако у этого архетипа есть и негативные аспекты. Первый — итоговое возникновение монопольного положения в данной сфере. В некоторых сферах (например, в спорте) это желанная цель, в других это нежелательно (например, в экономике это уничтожает конкуренцию, из-за чего государство принимает антимонопольные правовые ограничения). Второй получил название «Западня самодостаточности» (Competency Trap). Иногда высокий уровень ранее

успешной активности сохраняют (несмотря на падение внешней потребности в ней!) только потому, что эту активность мы умеем делать лучше других. Наглядный пример этого дает история фирмы *IBM* (рис. 8.14). Став монополистом производства крупных ЭВМ (*mainframes, MF*), фирма, уверенная в их превосходстве над появившимися персональными компьютерами (*PC*), слабо инвестировала *PC*, что привело к утрате рынка. Появление *PC* не изменило мнения *IBM* о причинах своего успеха («пользователям нужны производительные *MF*»), и фирма не отреагировала на то, что на самом деле причиной успеха товара у потребителя является лучшее соотношение его цены и качества. В результате *IBM* потеряла рынок персональных компьютеров. В аналогичной западне собственной компетентности оказывается квалифицированный преподаватель вуза, настаивающий на увеличении часов своего отлаженного курса, и не желающий разработать новый для себя курс. Причиной возникновения «Западни компетентности» является расхождение внутреннего и внешнего критериев успешности.



Рис. 8.14. «Западня компетентности» IBM в производстве MF

Рассмотрим теперь некоторые архетипы поведения, появляющиеся в тех случаях, когда в структуре системы доминирует больше двух петель обратных связей.

**Архетип «Перекалывание бремени» (*Shifting the Burden*).** В практике решения сложных проблем нередко усилия направляются на ликвидацию симптома проблемы, а не на устранение ее причины. Побочным эффектом такого выбора рычажной точки является то, что облегчение проявления симптома создает иллюзию решения проблемы, отвлекает от поиска ее фундаментального решения. Структура связей, порождающая данный архетип, приведена на рис. 8.15.

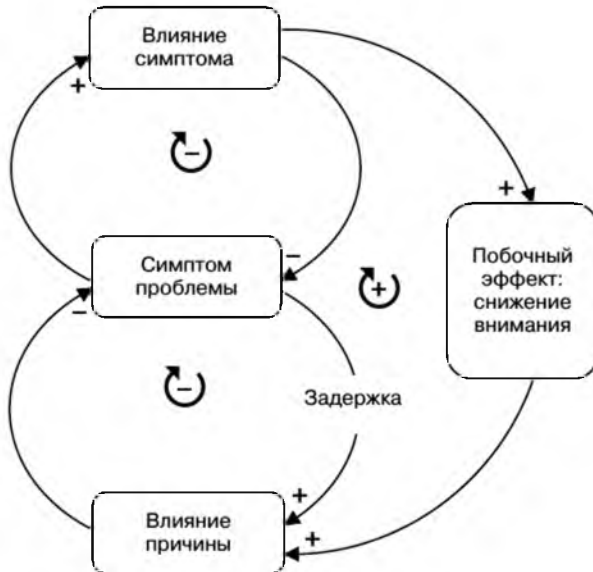


Рис. 8.15. Архетип «Перекладывание бремени»

Примерами служат попытки решить проблему алкоголизма запретом на производство и продажу алкоголя, проблему дорожных аварий увеличением штрафов за нарушения правил движения, проблему преступности ужесточением наказания, проблему стресса принятием дозы спиртного или наркотика, проблему уплаты долга за счет нового займа, проблему увеличения прибыли за счет расширения традиционного сегмента рынка вместо диверсификации производства и т.д.

Один вариант данного архетипа столь распространен и часто столь пагубен, что стоит отдельного упоминания. Это случай попытки решения проблемы только за счет внешних усилий, без мобилизации внутренних возможностей, т.е. «Перекладывание бремени на третью сторону». Бывают обстоятельства, когда оказание внешней помощи смягчает остроту проблемы настолько, что сами носители проблемы теряют интерес к решению проблемы собственными усилиями. Например, в некоторых странах пособие на многодетность позволяет родителям вообще не заниматься производительным трудом; разовая помощь генетическим больным отвлекает внимание от принятия мер к предотвращению их появления.

Главный принцип менеджмента внешней помощи — «Научи их рыбачить, вместо того, чтобы давать им рыбу». Если внешняя

помощь необходима, она должна быть либо однократной (и все заранее знают это), либо направленной на развитие способностей, ресурсов и инфраструктуры системы, достаточное для ее самостоятельного успеха в будущем, без помощи извне.

**Архетип «Рост при недоинвестировании» (Growth and Underinvestment).** Данный архетип связывают с ситуацией, когда рост фирмы достигает предела, который можно превзойти только при дополнительном инвестировании. Однако фирма может продолжить увеличение объемов производства, — за счет понижения требований к качеству продукции. Это создает иллюзию ненужности дополнительных вложений в производство, оправдывая дальнейшее его недофинансирование. Но снижение качества товара или услуги неминуемо ведет к вытеснению фирмы с рынка. Такое поведение фирмы вытекает из взаимодействия трех петель обратной связи, объединяющего архетипы «Пределы роста» и «Эрозия целей» (рис. 8.16). Симптомом этого архетипа является то, что фирма не придает значения снижению качества своего продукта, а вместо этого пеняет на конкурентов или обвиняет свой отдел сбыта в недостаточных усилиях по продажам. Способ избежать попадания в данный архетип состоит в упреждении событий: если конъюнктура обещает реальные возможности роста спроса в будущем, стратегия фирмы должна предусматривать подготовку к этому заранее, — начать обучение нужных кадров, своевременно создать нужные запасы ресурсов, следить за соблюдением стандартов качества и т.д.

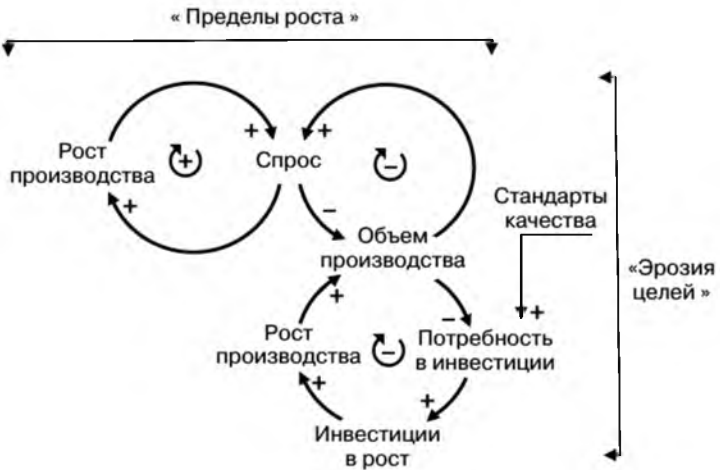


Рис. 8.16. «Рост при недоинвестировании»

*Архетип «Трагедия общедоступности» (Tragedy of the Commons).*

Этот архетип характеризует ситуацию, когда все члены группы пользуются ограниченным общедоступным ресурсом, удовлетворяя каждый только свои интересы. По мере убывания ресурса, каждый старается увеличить свое потребление, что лишь ускоряет истощение, вплоть до полного исчерпания ресурса. Примерами этого являются не только ситуации с потреблением невозобновляемых ресурсов, но и возобновляемых тоже, когда темп потребления превышает темп прироста ресурса: транспортные пробки в городах (потребляемый ресурс — пропускная способность автодорог); исчезновение многих видов промысловых животных, рыб и растений; загрязнение почв, вод и атмосферы производственными и бытовыми отходами человека; дефицит квалифицированных кадров в экономике; и т.д. и т.п. Структура сети петель обратной связи и задержек, порождающая данный архетип, приведена (для случая двух потребителей ресурса) на рис. 8.17.

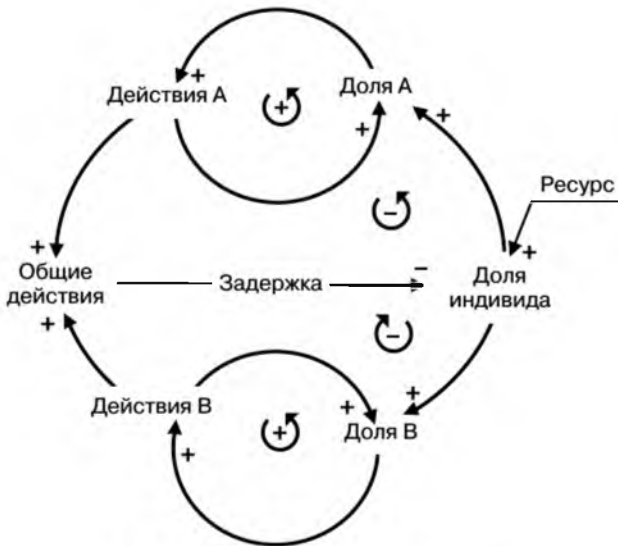


Рис. 8.17. «Трагедия общедоступности»

Отодвинуть трагедию (для невозобновляемого ресурса) или предотвратить ее (для возобновляемого), можно только разработав и осуществив стратегию рационального регулирования пользования ресурсом, согласующего краткосрочные индивидуальные и долгосрочные коллективные интересы.

*О других архетипах.* Поведение данной системы в данной среде мы описываем как совокупность процессов, происходящих на выходах системы (т.е. как множество ее *функций*, см. параграф 2.1 и параграф 2.2). Каждая функция является результатом взаимодействия всех частей системы (см. параграф 2.3). Однако в том, что происходит на данном выходе, разные части системы играют разные роли, отличающиеся не только качественно, но и количественно: влияние действий одних частей более существенно, чем остальных (например, отсутствие одного пальца не мешало Ельцину отлично играть в волейбол, но исключало возможность играть на рояле). В результате, в формировании конкретной функции определяющую роль играет не вся сеть элементов системы, образующая ее структурную схему, а лишь ее некоторая ее часть. Структура именно этой части и определяет характер процесса на данном выходе: то, какие и сколько петель обратных связей, и в каком сочетании они участвуют в этой подструктуре, и определяет то, что принято называть *архетипом*.

Таким образом, в качестве архетипа можно рассматривать любой чем-то интересующий нас больше, чем другие, процесс в поведении системы. Для понимания, почему он происходит именно так, достаточно выявить особенности подструктуры, определяющей именно этот процесс. И если к тому же этот процесс нежелателен, следует перестроить эту подструктуру подходящим образом, создав новый архетип.

Наглядный пример такой ситуации рассмотрен в кейсе Мэрилин Пол «Переход от взаимных обвинений к взаимной ответственности» (*Marilyn Paul. Moving from Blame to Accountability, Pegasus Communications, Inc., Publications, PG07*):

«Когда что-то идет не так, чаще всего первый вопрос, который мы задаем, — “Кто виноват?” Во многих организациях поиск виновных подобен условному рефлексу. Даже те, кто желает учиться на ошибках, поддаются стремлению найти виноватых. Однако с этим связаны проблемы: перед угрозой обвинений люди замыкаются, расследование заходит в тупик, резко сужается желание разобраться в сути происходящего. В атмосфере нависших обвинений естественным является стремление спрятать свои ошибки, скрыть истинные мотивы поведения, и обвинить кого-то другого».

М. Пол установила две системы обратных связей, совместно вызывающих такое поведение. Во-первых, петли положитель-



ных обратных связей нагнетают трудности решения проблемы (рис. 8.18). Обвинения вызывают страх, который увеличивает скрытность и уменьшает потоки информации. Недостаток информации препятствует решению проблемы, увеличивая количество ошибок, (внутренний цикл). Страх также подавляет готовность в будущем рисковать и желание совершать новации (второй цикл).



Рис. 8.18. Нарастание обвинительного уклона

Во-вторых, в ситуации участвует и архетип «Перекалывания бремени», мешающий осознать, что вина-то общая, и уменьшающий возможности предпринять общие усилия для решения проблемы (рис. 8.19). Объявление, что виноват кто-то один, лишь кратковременно создает у большинства иллюзию облегчения виноватости (верхняя петля отрицательной связи). Это снижает желание делиться информацией и эффективно общаться (внешняя положительная связь), и подрывает возможность развить способность к взаимной ответственности (нижняя петля отрицательной связи).



Рис. 8.19. Склонность к обвинительному уклону

Обсуждая переход от взаимных обвинений к взаимной ответственности, М. Пол так характеризует различия между ними:

	Обвинения	Ответственность
<b>Объект системного анализа</b>	<b>Индивид</b> «Давайте найдем, кто виноват в неудаче»	<b>Система</b> «Что в структуре нашей системы увеличивает вероятность ошибки и снижает шансы на успех?»
<b>Центр внимания</b>	<b>Личность</b> «Кто это сделал?» «Что он сделал не так?»	<b>Проблема</b> «Что же у нас произошло?»
<b>Намерение</b>	<b>Наказать виновного</b> «За свою вину вы должны быть наказаны»	<b>Улучшить работу организации</b> «Давайте выясним, что надо у нас изменить, чтобы добиваться желаемых результатов»
<b>Получаемый эффект</b>	<b>Скрытность, необучаемость</b> «Скрою свои ошибки, и постараюсь в дальнейшем ничего не делать по своей инициативе, чтобы не рисковать совершить ошибку»	<b>Открытость, обучение на ошибках</b> «Хочу обсудить ошибку, чтобы мы все чему-то научились, и в будущем делали свою работу лучше»

В завершение рассмотрения феномена архетипов поведения систем, еще раз подчеркнем, что он основан на отыскании «главной причины» именно такого характера поведения системы: «это — результат действия такого-то сочетания обратных связей и задержек». Однако в реальности на результат влияет не только это сочетание, но в какой-то мере и остальные компоненты системы. Степень четкости выраженности архетипа зависит от степени преобладания влияния характерной для него подструктуры над влиянием остальных структур. Именно этим объясняется тот факт, что и острота конфликта бывает разной, и выполнение в разных организациях рекомендаций по преодолению нежелательного архетипа приводит к успеху в разной степени.

#### **8.4.3. О математическом моделировании динамики сложных систем. Синергетика**

Как и во всех других областях познания, продвижение в изучении природы систем происходит путем накопления экспериментальной информации и развития моделей объекта познания в сторону все большей их полноты и точности. В пределе это ведет к стремлению построить *математические* модели систем (см. параграф 3.4). Неудивительно, что в математическом моделировании систем раньше остальных и дальше всех продвинулись физики: высшей формой познания физических систем являются модели теоретической (*математической*) физики, обобщающие и объясняющие результаты, получаемые физикой экспериментальной.

Выход физиков на главное общесистемное свойство природы, — *эмерджентность*, произошел при рассмотрении *динамики* физических систем, т.е. при описании естественных *изменений со временем* состояния конкретной физической системы. Проявление эмерджентности в динамике получило название *синергии* (от греческого «совместное действие»), подчеркивающего нелинейность общего действия, т.е. не просто сложение частных действий, а эффект эмерджентности их взаимодействий.

В физике принято описывать состояние физической системы путем определения ее наблюдаемых и *количественно* измеряемых характеристик: значений *постоянных* (в течение эксперимента) параметров, и значений *переменных* параметров в каждый момент времени наблюдения. Например, свободно качающийся маятник характеризуется постоянными параметрами: начальной амплитудой, весом (массой) маятника, расстоянием между точкой

подвеса и центром масс, коэффициентом трения на оси подвеса, коэффициентом сопротивления воздуха движению маятника; и переменными параметрами: положением маятника в каждый момент времени (отклонением от точки равновесия), векторами скорости и ускорения движения в данный момент времени.

В каждый момент времени состояние системы характеризуется конкретным набором значений переменных параметров, т.е. *координатами точки в пространстве состояний*: с течением времени эта точка перемещается, образуя некоторую *траекторию*. Специфика природы данной системы проявляется в определенных устойчивых особенностях ее траекторий в пространстве состояний.

В физике пространство состояний получило название *фазового пространства (phase space)*, потому что для некоторых физических систем разные области этого пространства соответствуют качественно разным фазовым состояниям системы (например, для молекулярного вещества в пространстве «температура — давление» это фазы твердого, жидкого, газообразного и плазменного состояний).

Легко усмотреть, что количественное моделирование динамики происходит по общей схеме с качественным моделированием статики систем. Набор параметров является моделью *состава* системы. Моделью *структуры* системы (т.е. описанием взаимодействий между частями) является уравнение, связывающее параметры между собой. Постановка задачи есть описание входов (задание начального состояния системы), а ее решение — описание выходов системы (вместе это — модель *черного ящика*). Решение уравнения системы есть *количественное* описание *синергетического* поведения системы (определение траектории *эмерджентного* состояния системы в фазовом пространстве; «фазовый портрет» системы): каждой структуре соответствует присущий именно ей *архетип* поведения (в синергетике это *аттрактор*).

Уже из качественной модели мы знаем, что архетип определяется конкретной структурой обратных (положительных и отрицательных) связей и временными задержками потоков ресурсов в связях. Эти особенности системы в математической модели отображаются функцией, количественно описывающей взаимосвязи между параметрами. Например, простейшие уравнения движения описывают связи между параметрами  $x = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  и их скоростями  $dx_i/dt$ :

$$dx_i/dt = V_i(x), i = 1, 2, \dots, n. \quad (8.1)$$

Положительные (усиливающие) обратные связи отображаются нелинейными членами в полиномах  $V_i(x)$ ; отрицательные (ослабляющие) — членами затухания, *диссипации* энергии; задержки — параметрами инерционности.

Естественно, разным структурным схемам системы, — т.е. разным функциям  $V(x) = \{V_i(x)\}_1^n$ , соответствуют разные эмерджентные (синергетические) эффекты. Схождение динамических процессов к тем или иным конкретным конфигурациям интерпретируется как процесс *самоорганизации* системы, что дало основание говорить о синергетике как о теории самоорганизации.

В мировой науке сложились научные школы, разрабатывающие разные конкретные ветви синергетики: брюссельская школа неравновесной термодинамики макросистем И. Пригожина, школа Лоренца — Хакена необратимых микросистем, горьковская школа автоволновых колебаний Мандельштама — Андроннова, школа теории катастроф Зеемана, теории фракталов Мандельброта и др. Специфика этих ветвей синергетики основана прежде всего на изучении разных типов дифференциальных уравнений (обыкновенных и в частных производных разного порядка) и разных видов функции  $V(x)$  (что, кстати, потребовало серьезного развития ряда разделов самой математики).

Но, наряду с результатами, специфическими для каждой ветви, выявились и некоторые удивительные и восхитительные *общесистемные* закономерности. Наибольшее внимание привлекли еще три взаимосвязанных темы.

1. Порядок и хаос в природе связаны: в частности, это проявляется в том, что в системах, описываемых уравнениями, содержащими только *неслучайные* параметры, при определенных значениях этих параметров траектории приобретают *случайный* характер; при этом в природных *хаотических* процессах существуют внутренние *регулярности*.

2. Все (и случайные, и хаотические) траектории систем в фазовом пространстве образуют устойчивые конфигурации, названные *аттракторами*.

3. Строение природных систем носит иерархический характер, с едиными правилами организации на всех этапах иерархии; эта особенность природы названа *фрактальностью*.

(Все эти особенности проявляются уже на примере простейшей модели динамики системы — уравнения (8.1)).

Эти три аспекта динамики систем в совокупности позволили несколько продвинуться в понимании механизмов наблюдаемого поразительного процесса *самоорганизации* Природы, — развития нашей космической Вселенной; образования дискретного спектра материальных сущностей; появления живых организмов; наблюдаемого разнообразия тенденций их изменения, одна из которых привела к появлению человека и социальных систем; развитие многообразных взаимодействий между всеми сущими системами (из которых нас прежде всего интересуют наши, человеческие, взаимодействия друг с другом и окружающим нас миром). Кратко обсудим обнаруженные особенности динамики систем.

### Порядок и хаос в Природе

При осуществлении любых своих целенаправленных действий человек нередко сталкивается с тем, что в действительности происходит не совсем то или совсем не то, чего он ожидал. Такие события называются *случайными*, и необходимость добиваться цели даже при наличии случайности потребовала понять ее природу, т.е. построить модели, позволяющие успешно действовать и в условиях неполной предсказуемости событий.

Наиболее наглядно случайность проявляется в азартных играх; с них и началось познание природы случайности: была построена теория вероятностей (математическая аксиоматика которой была завершена А.Н. Колмогоровым в середине прошлого века) и основанная на ней теория игр. Выяснилось, что случайность событий *в данном случае* связана с неполной известностью условий их осуществления. Вероятность (мера возможности) события определяется неким комплексом условий, и если мы планируем свои действия, исходя из неточного знания или вообще незнания какого-то из условий, события (естественно!) происходят неожиданным для нас образом.

Типичным примером служит игра в кости. При условии «правильности» (однородности) кости и «честности» ее бросания вероятность выпадения любых очков одинакова и равна 1:6. Есть такой «вероятностный» анекдот. *Играющие на базаре делают ставки на разные очки, а метатель кости — на шестерку. Когда он шесть раз подряд выиграл, игроки стали бить метателя, обвиняя его в мошенничестве. Так оно и было: у кости был смещен центр тяжести. Но почему они стали его бить только после шестого раза?*

Понятие случайных событий было вскоре распространено на их временную последовательность, сначала — дискретную (статистический ряд), а затем и на непрерывную (случайный процесс). Пришлось ввести учет вариативности условий (в частности, различные варианты зависимости разнесенных во времени событий, понятия эргодичности и стационарности процессов).

В целом данное направление исследования природы случайности сосредоточилось на той причине случайности, которая связана с тем, чего человек, взаимодействующий с реальностью, знает (и не знает) о ней. В этом случае случайность (*для человека!*) событий возникает из-за незнания им некоторых объективных условий их происхождения.

Другой важный результат этой ветви познания случайности состоит в том, что и случайные явления подчинены определенным закономерностям. Вся информация о стабильных, неслучайных свойствах случайных событий сосредоточена в функции распределения вероятностей по этим событиям. Например, в одномерном случае мы можем говорить о параметрах положения и масштаба функции распределения, в многомерном — еще и о мерах зависимости переменных и т.д. На базе теории вероятностей возникли различные прикладные дисциплины — теория игр, математическая статистика, исследование операций, теория информации, теория экономических рисков, актуарная математика, и др.

Но еще более важным продвижением в познании природы случайности и соотношения хаоса и порядка стало открытие, что случайность присуща и самой природе, независимо от того, участвует ли в происходящих событиях человек с его познаниями.

Вообще-то этот факт был еще в начале века обнаружен в квантовой механике с ее принципом неопределенности и волновыми функциями, но тогда это выглядело скорее как особенность математической модели микромира. На этот же раз оказалось, что даже в строго детерминированных системах, описываемых точными уравнениями, не содержащими никаких случайных параметров или функций, могут происходить типично случайные события. Для описания этого феномена были введены более общие понятия *хаоса* и *стохастичности*, *обратимости* и *устойчивости* систем; введены различные количественные характеристики стохастической неопределенности: энтропия, моменты распределений, меры количества и ценности информации. (Обстоятельные критические обзоры этого раздела динамической теории систем содержатся

в книгах: *Хайтун С.Д.* От эргодической гипотезы к фрактальной картине мира, М., URSS, 2007; *Хайтун С.Д.* Феномен человека, М., URSS, 2008; *Чернавский Д.С.* Синергетика и информация, М., URSS, 2009) Удалось выяснить два (пока?) источника объективной стохастичности в природе.

Первый был обнаружен в начале века Пуанкаре в виде выделения класса *неустойчивых* систем, фазовые траектории которых резко расходятся при малейших различиях начальных условий. Оказалось невозможным аналитически получить точное решение уравнений таких («неинтегрируемых») систем, но качественное рассмотрение их динамики удавалось провести в компьютерных экспериментах. В частности, сенсационную известность этот феномен получил после опубликования случая, произошедшего при прогнозировании погоды путем решения на компьютере многомерной системы уравнений, связывающих наблюдаемые ранее на данной территории погодные данные с возможными предстоящими. Получив прогноз с очень точными исходными данными (до шести знаков после запятой), и уходя на обед, метеоролог Е. Лоренц решил на всякий случай пересчитать прогноз, для убыстрения расчетов задав те же данные с точностью только до трех знаков. Каково же было его удивление, когда вернувшись с обеда, он увидел второй прогноз, в корне отличный от первого! Расследование показало, что решение некоторых неслучайных (!) уравнений чрезвычайно чувствительно к начальным условиям: очень малое изменение начальных условий может вести к очень разным результатам.

Этот системный эффект был обнаружен не только в математических моделях, но и в реальной природе, и даже получил образное название «эффект бабочки». (Научный фольклор связывает это название с двумя источниками. Первый — прибаутка: «Если бабочка взмахнет крылышками в устье Амазонки, у берегов Японии разразится тайфун». Второй — рассказ фантаста Рэя Брэдбери о том, как турист, путешествующий на машине времени в эпоху динозавров, и предупрежденный о категорическом запрете там что-нибудь менять, нечаянно задавил на тропинке бабочку. Вернувшись домой, он увидел Америку совершенно иным обществом.)

Высокая чувствительность сложной системы к малым изменениям начальных условий стала предметом исследования факторов ее устойчивости, дав начало соответствующей ветви математической теории дифференциальных уравнений.



Наряду с этим, было открыто и еще одно проявление *объективной* случайности в поведении систем, описываемых вполне детерминированными уравнениями: наличие стохастических «аттракторов» в их фазовом пространстве.

### Аттракторы

Рассмотрение уравнений динамики систем обнаружило, что поведение реальных систем происходит упорядоченно, закономерно. Оказалось, что Природа допускает не любое поведение, но только такое, которое принадлежит конечному набору возможных фазовых портретов данной системы. При описании поведения системы в виде траектории в фазовом пространстве, это выражается в существовании *дискретного и конечного* набора его подобластей, в пределах одного из которых и находится траектория поведения системы. Разные подобласти отличаются конкретными значениями факторов, определяющих данную ситуацию. Например, поведение воды в фазовом пространстве «температура — давление» определяется четырьмя подобластями, соответствующими твердому, жидкому, газообразному и плазменному состояниям воды.

Эта особенность природы проявилась и при исследовании математических моделей динамики систем. Например, обнаружилось, что для систем, описываемых уравнениями (8.1), существуют только четыре типа их траекторий в фазовом пространстве «координаты — скорости». Эти типы интерпретируются как «центры притяжения» («аттракторы») для реальных траекторий системы:

*точечные аттракторы* — стабильное во времени поведение, отображаемое конкретной точкой в фазовом пространстве;

*циклические аттракторы* — ритмическое переключение с одного типа поведения на другое и обратно (обычно это колебания между двумя типами действия, но возможны ситуации, когда этих типов больше);

*тороидальные аттракторы* — случай, когда траектории поведения системы в фазовом пространстве хаотически различны, но остаются в пределах (или даже только на поверхности) *тора*, объемной фигуры, «трубки», образующейся при движении круга по замкнутой траектории (типа бублика, который, однако, может иметь и не только правильную форму);

*странные аттракторы* — «пучки» случайных траекторий, занимающие ограниченную часть фазового пространства, но, в от-

личие от тороидальных аттракторов, имеющие нерегулярные, тоже случайные границы.

На то, что такая типология поведения природных систем имеет общесистемный характер, указывает существование как четырех фазовых состояний физических веществ (твердое, жидкое, газообразное и плазменное), так и наличие четырех стилей управленческого поведения менеджеров, обнаруженное Р. Акоффом: реакционный (*reactive*), пассивный (*inactive*), преактивный (*proactive*) и интерактивный (*interactive*) менеджмент. Примерами циклических аттракторов могут служить не только колебания маятника или буриданова осла, но и переключения положений закрылков тяжелого самолета с минимального на максимальное (для оптимальной гладкости траектории), и периодические переборы политических партий в двухпартийных демократиях (одна партия за свободу — капитализм, другая за равенство — социализм; эти две идеи несовместимы одновременно, но могут реализоваться попеременно, при наступлении преобладания недостатков одного над достоинствами другого). Переходом к другому аттрактору может также служить смена ламинарного течения на турбулентное при усилении напора воды в кране или при увеличении скорости движения судна.

При дальнейшем рассмотрении математических моделей динамики систем выяснилось, что количество аттракторов может отличаться от четырех, может быть и очень большим, — в зависимости от числа степеней свободы и от соотношения между положительными и отрицательными показателями нелинейностей в уравнении (просматривается тесная аналогия аттракторов с различными архетипами, реализация которых зависит от соотношений между положительными и отрицательными петлями обратной связи и задержками в разных петлях).

Аттракторы являются формами устойчивых состояний реальных систем, итоговыми состояниями, к которым устремлена эволюционная динамика систем. Поэтому их естественно интерпретировать как *объективные цели* систем в заданных условиях (соотношение между субъективными и объективными целями обсуждалось в параграфе 2.3), а процесс приближения к ним — как процесс *эволюционной самоорганизации*. Поведение системы в зоне неустойчивости (вблизи границы, разделяющей зоны притяжения разных аттракторов, подобно водоразделу бассейнов соседствующих рек), сопровождающееся скачкообразным переключением системы с одного аттрактора на другой (такое собы-

тие в синергетике называют *бифуркацией* или *катастрофой*) интерпретируется как *революционная самоорганизация* системы.

Открытие и исследование аттракторов привело к осознанию целого ряда природных особенностей (закономерностей) систем. Две из них подчеркнем особо.

Первая — обнаружение того, что случайность реальных событий может иметь не только субъективную причину (незнание или неверное знание субъектом некоторых объективных условий происхождения события), но и быть вполне объективной (т.е. вообще не связанной с существованием людей) особенностью поведения *неслучайно* организованных систем. При исследовании механизма возникновения хаоса в системе, описываемой уравнением без случайных компонент, оказалось, что часто хаос возникает при многократном удвоении частот в спектре фазовой траектории. Это связано с иерархическим самовоспроизведением структуры системы, которое приводит к особенности природы, названной *фрактальностью* (что мы вкратце обсудим чуть позднее).

Вторая — установление факта *иерархической дискретности* множества всех проявлений природы. В системной динамике это дискретность (и конечность!) множества аттракторов системы. В системостатике это дискретность элементов, структур и архетипов. В физическом микромире это дискретность множества элементарных частиц, атомов и молекул, и дискретность (квантованность) их энергетических состояний. В макромире — дискретность космических тел, звезд, планетных систем, галактик. В мире живых систем это иерархическая дискретность («мутовочность») особей, их видов, семейств, популяций, экологических сообществ. В социальных системах — типы общественных формаций.

### Фракталы

Современное понятие о *фрактальности*, весьма специфичной особенности строения естественных систем, постепенно сформировалось в результате стараний многих естествоиспытателей и философов понять принципы *самоорганизации* (возникновения, роста и развития) природных систем.

То, что Природе присуща фрактальность, открывалось и осознавалось постепенно, по частям, с разных точек зрения на реальность. Один аспект фрактальности, — *самоподобие* природных структур, или *масштабная инвариантность*, — был замечен

еще в древности восточными мыслителями. Буддийские монахи издревле познавали мир, размышляя в одиночестве о самом себе («созерцающая собственная пупок»). Британские миссионеры в колониальные времена обнаружили в культуре африканского племени Зулу понятие *umuntu* — человека, осознающего свою неразрывность с общиной, испытывающего страдания, если страдают другие. У зулусов есть заповедная мудрость: *umuntu ngumuntu ngabantu* («каждый — часть всех»). Многие из мыслителей всех времен приходили к осознанию этого свойства природных систем. 300 лет назад Лейбниц писал: «Всякую часть материи можно представить наподобие сада, полного растений, или пруда, полного рыб. Но каждая ветвь растения, каждый член животного, каждая капля его соков есть опять такой же сад или такой же пруд». А выдающийся психолог прошлого века Карл Юнг усмотрел подобие между структурами вселенной и человеческой психики: «Наша психика устроена подобно вселенной; то, что происходит в макрокосмосе, происходит и в мельчайших, самых субъективных уголках психики». Не только в науке, но и в искусстве присутствовали отображения феномена каскадной (иерархической) структуры реальности. Картины Леонардо Да Винчи «Лавина» (рис. 8.20) и Кацушика Хокусаи «Большая волна» (рис. 8.21) наглядно изображают явление самоподобия: все более мелкие части целого организованы на всех уровнях одинаковым образом. Народное искусство тоже отображает это: вспомните устройство игрушечных «матрешек»; песни типа «Я, ты, он, она, вместе — целая страна»; у англичан в ходу поговорка типа «I am who I am because of everyone», у австралийцев — «I am, you are, we are Australia».

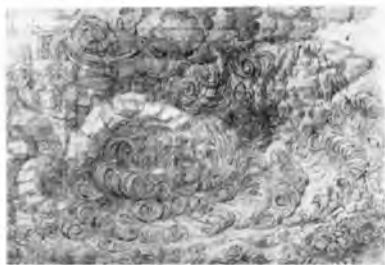


Рис. 8.20.



Рис. 8.21.

Этот аспект самоподобия структуры природных систем можно назвать *иерархической системностью* (имея в виду, что системность бывает и неиерархической). Особенности иерархии

(см. параграф 7.4) порождают наблюдаемые у естественных систем устойчивость, эффективность, мутовочность (дискретность ветвей развития), что во многом объясняет механизмы самоорганизации и эволюции в природе, а заодно и причины частого предпочтения иерархической организации управления во многих технических и социальных системах.

Но настоящий прорыв в осознании этой особенности систем, завершившийся формированием (и поименованием!) понятия *фрактальности*, произошел при развитии *математической* модели геометрических конфигураций. И поныне очертания многих плоских и объемных фигур принято описывать с помощью непрерывных гладких линий и поверхностей, в терминах геометрии Евклида. Чертежи всех искусственно создаваемых нами технических объектов (орудий, устройств, зданий, сооружений) именно так и выглядят. Но эти объекты — *искусственные* системы. Естественные же системы имеют иную геометрию. Как пишет Бенуа Мандельброт в своей пионерской книге *The Fractal Geometry of Nature* (Freeman, San-Francisko, 1977):

«Облака — это не сферы, горы — не конусы, очертания берега — не окружности, и кора не является гладкой, и молния не распространяется по прямой. Природа демонстрирует нам не просто высокую степень, а совсем другой уровень сложности. Число различных масштабов длин в структурах всегда бесконечно. Существование этих структур бросает нам вызов виде трудной задачи изучения тех форм, которые Евклид отбросил как бесформенные — задачи исследования морфологии аморфного».

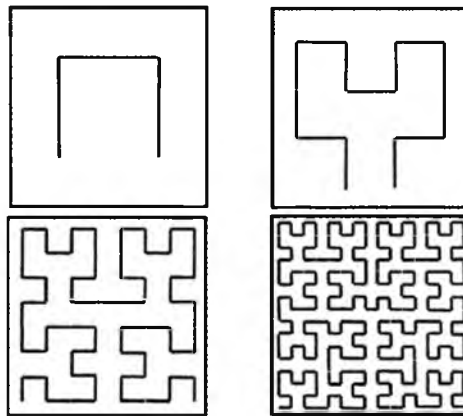


Рис. 8.22. Первые поколения кривой Пеано

Задолго до Мандельброта, в нескольких разделах математики (в геометрии, теории множеств, логике) уже были построены абстрактные объекты, настолько разительно отличающиеся от привычных регулярных объектов, что их прозвали «монстрами», «чудовищами», «парадоксами». Примерами геометрических объектов такого типа являются кривая Пеано (рис. 8.22) и треугольники Серпинского (рис. 8.23); в теории множеств таким объектом является канторова пыль (рис. 8.24); в логике — парадокс Зенона («Ахилл и черепаха») и парадокс лжеца («Я лгу»).

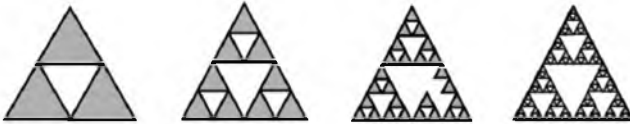


Рис. 8.23. Четыре поколения треугольников Серпинского

Некоторые существенные особенности таких объектов можно наглядно увидеть при построении триадной кривой Коха, которую шведский математик Хельге фон Кох впервые представил еще в 1904 г. Начнем с прямолинейного отрезка единичной длины ( $n = 0$ ). Разобьем его на три равных (по  $1/3$ ) части, отбросим среднюю часть, и заменим ее ломаной из двух звеньев длиной в  $1/3$  так, чтобы средняя часть была основанием равностороннего треугольника. Получилась ломаная линия из четырех частей с общей длиной в  $4/3$  («первое поколение»,  $n = 1$ ). Следующее поколение получится, если эту операцию повторить с каждым отрезком предыдущего поколения. Например, длина кривой Коха второго поколения равна уже  $16/9$ , третьего —  $64/27$  и т.д. (рис. 8.25).

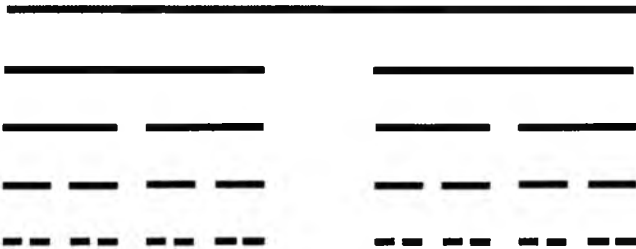


Рис. 8.24. Пять поколений канторовой пыли

При бесконечном порождении поколений и получится триадная кривая Коха. Она обладает такими свойствами, которые выводят ее из числа объектов классической геометрии: 1) эта

кривая не имеет длины: длина кривой каждого следующего поколения больше длины предыдущего, и с ростом числа поколений стремится к бесконечности; 2) к этой предельной непрерывной кривой невозможно построить касательную: каждая ее точка является точкой перегиба. А ведь длина и гладкость — это фундаментальные свойства объектов, подлежащих изучению в геометриях Евклида, Лобачевского и Римана.

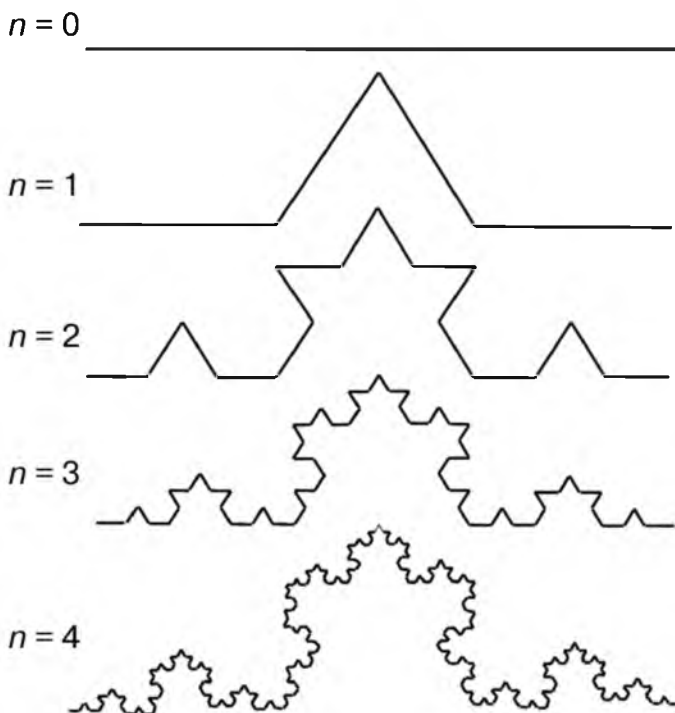


Рис. 8.25. Первые пять поколений кривой Коха

Бенуа Мандельброт, движимый желанием смоделировать реальные свойства природных конфигураций, усмотрел возможность сделать это с помощью «монстров», вызвавших такой переполох в математических кругах (Бурбаки даже назвали их «патологическим явлением в математике»). Он создал новую геометрию, назвав ее *фрактальной геометрией*. Фракталы, объекты новой геометрии, позволили строить формальные модели «бесформенного» природного хаоса. Мандельброт так обосновывал введение нового термина: «Я создал термин *фрактал* от латин-

ского прилагательного *fractus*. Соответствующий латинский глагол *frangere* означает разрывать, прерывать, т.е. создавать нерегулярные фрагменты. Это, следовательно, имеет (подходящее для нас!) значение, дополнительное к термину «фрагментированный»: *fractus* также «нерегулярный». (...) Сочетание «фрактальное множество» (*fractal set*) будет определено строго, но сочетание «природный фрактал» (*nature fractal*) будет дано свободно, — для определения природных примеров, которые полезно репрезентировать с помощью фрактальных множеств».

Последняя фраза говорит о ясном понимании того, что математический фрактал является абстрактной моделью реального природного хаоса, более полезной, чем модели регулярной геометрии: фракталы принципиально отличаются от традиционных геометрических форм типа точки, линии, гладкой поверхности.

Построение фрактальной геометрии привело к грандиозному прорыву в познании Природы, окончательно завершив переход к парадигме дискретности всего сущего. Было обнаружено поразительное сходство *математических* геометрических фракталов с *природными* (непрерывными!) геометрическими конфигурациями (например, траектория молнии, изгибы реки, очертания облаков, горных хребтов, береговых линий островов и континентов), которые нам иногда кажутся непредсказуемыми хаотическими, случайными, а иногда — очень сложными, но поразительно гармоничными (форма снежинок, звуки музыки, внешние формы каждого живого существа, разнообразие видов растений и животных, формы космических объектов — планетных систем, галактик). Этот факт привел к пониманию того, что *все* явления природы в своей изначальной сути имеют дискретную природу. Частные аспекты этой всеобщей особенности Природы были обнаружены и раньше: объясняя природу материи, физики построили *квантовую* модель микромира; химики обнаружили *дискретность* мира химических элементов (таблица Менделеева); биологи — «мутовочность» форм жизни (*дискретность* видов и невозможность их скрещивания); социологи установили, что общество состоит не только из *отдельных* субъектов, но и из *отдельных* ячеек (семья, этнос, нация; группа, организация, сообщество). Однако теперь стало ясно, что не только пространственные, но и *любые* качественные непрерывные (в каком-то отношении) природные явления в своей основе



дискретны. Например, непрерывные траектории динамических систем реализуются в виде дискретного набора *аттракторов*; непрерывный рост систем, происходящий путем накопления ресурса из окружающей среды, реализуется в виде обособления дискретных *частей* системы (ветви растений, залежи в месторождении полезных ископаемых, населенные пункты на обживаемой людьми территории, частные капиталы в рыночной экономике и т.д.).

Эта внутренняя, изначальная дискретность даже непрерывных проявлений Природы представлена в их математическом моделировании иерархической и самоподобной структурой фракталов: поколения непрерывных фрактальных множеств строятся дискретно, итеративно, одинаковыми для всех поколений соотношениями. Наглядным примером служат множества Жюлиа и Мандельброта точек  $(x, y)$  на плоскости. Оба множества строятся рекурсивно, путем перехода от  $k$ -той точки к  $(k + 1)$ -ой точке с помощью функций  $F$  и  $G$ :

$$x(k + 1) = F[x(k), y(k), p],$$

$$y(k + 1) = G[x(k), y(k), q],$$

где  $p$  и  $q$  — некие параметры строящегося множества. Функции  $F$  и  $G$  могут быть разными, но обязательно нелинейными.

Если на плоскости, состоящей из всех пар  $(x, y)$ , рассматривать предельное положение начальной точки  $z$  при  $k$  стремящемся к бесконечности при фиксированных  $p$  и  $q$ , то получаются множества Жюлиа. В частности, — на комплексной плоскости, при  $z = x + iy$ , рекуррентных итерациях  $z \rightarrow F(z, c)$ , и нелинейной функции  $F(z, c) = z \times z + c$ , — возникают аттракторы (!). При  $c = 0$  три аттрактора: 1)  $|z| < 1 \Rightarrow$  аттрактор — точка  $(0, 0)$ ; 2)  $|z| = 1 \Rightarrow$  аттрактор — окружность радиуса 1; 3)  $|z| > 1 \Rightarrow$  аттрактор — бесконечность. Четвертый аттрактор, отличный от нуля, возникает при  $c \neq 0$ .

Если же проследить траекторию перемещения точки при изменении параметров  $p$  и  $q$ , то на плоскости возникают разнообразные изображения чрезвычайно сложной многокомпонентной конфигурации, называемые множествами Мандельброта. Например, на рис. 8.26 приведены конфигурации все более мелкого масштаба одного и того же такого множества. Каждое следующее изображение (от  $a$  до  $e$ ) — это обведенный прямоугольником и увеличенный фрагмент предыдущего.

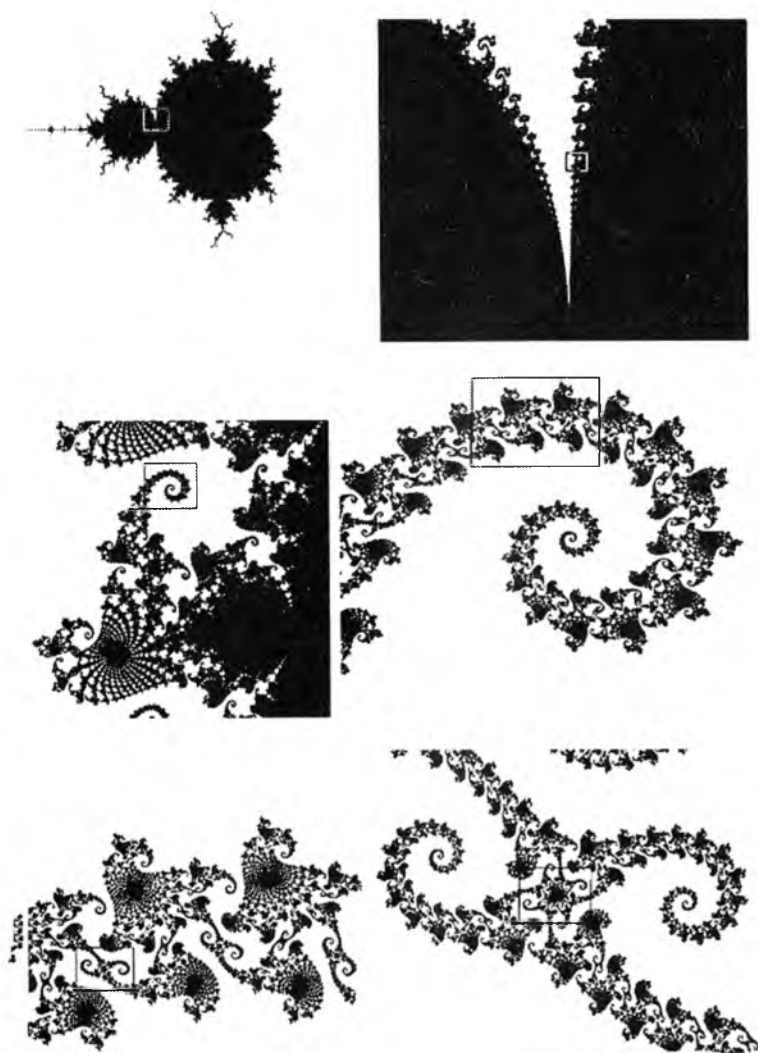


Рис. 8.26. Вид множества Мандельброта в разных масштабах

Принципиальное отличие фрактальной геометрии от геометрии классической проявилось и при попытках описывать фракталы в терминах евклидовой геометрии. Оказалось невозможным фрактальные конфигурации получить аналитической техникой интегрального и дифференциального исчисления, основанной на непрерывности и гладкости; построить фрактальные изобра-

жения можно только алгоритмически, с помощью дискретных итеративных процедур на компьютере. И описание некоторых свойств геометрического объекта через понятие его размерности тоже столкнулось с неприменимостью этого классического понятия к фрактальным объектам.

Размерностью геометрического объекта называется число координат, с помощью которых можно определить положение каждой точки данного объекта. Размерность прямой — один; размерность гладкой плоской фигуры — два; объемной — три. Для описания положения точек фрактальных (нерегулярных, извилистых, изрезанных) объектов недостаточно координат гладкого множества, в котором они размещены. Фрактальная точка уже не точка, но еще не линия; фрактальная линия или фигура на плоскости уже не плоская, но еще не объемная (рис. 8.26). Для описания этого свойства фракталов предложено определение размерности (Безиковича — Хаусдорфа), совпадающее с целочисленной размерностью гладких множеств, и характеризующее степень отличия фрактального множества от гладкого. Это понятие размерности основано на идее покрытия рассматриваемого множества элементами  $h(\delta) = \delta^d$ .

Пусть мы имеем множество точек в некотором евклидовом пространстве. Будем плотно покрывать это множество поочередно отрезками прямой ( $d = 1$ ), квадратами ( $d = 2$ ), кубами ( $d = 3$ ). Мера  $M_d$  множества определяется как  $M_d = \sum \delta^d$ . Мера является общим понятием для длины ( $d = 1$ ), площади ( $d = 2$ ), объема ( $d = 3$ ), и вычислима также при нецелых  $d$ . При  $\delta \rightarrow 0$  мера  $M_d$  равна нулю или бесконечности, если размерность измеряемого множества и  $d$ -размерность меры не совпадают. Например, при покрытии плоской фигуры прямыми  $M_d$  равна бесконечности, при покрытии ее кубиками мера стремится к нулю (объем плоскости нулевой), а при  $d = 2$  мера плоской фигуры стремится к конечной величине (площади фигуры).

Если покрывать кривую Коха отрезками ( $d = 1$ ), ее мера (длина) стремится к бесконечности; при покрытии квадратами ( $d = 2$ ) ее мера (площадь) стремится к нулю. Существует значение  $1 < d < 2$ , при котором мера меняет свое значение с нуля на бесконечность; оно и является оценкой (1,2628...) размерности данного фрактала: именно это имеется в виду, когда говорят, что «кривая Коха уже не линия на плоскости, но еще не объемная фигура». Определить дробное значение размерности конкретного фрактала непросто. Оценки длины береговой линии

дают разные размерности для побережий Австралии, Германии, западного побережья Британии, Португалии (Тарасенко В.В. Фрактальная логика. М., URSS, 2009).

Все это говорит не о «странности и сложности» Природы, а об ограниченности наших знаний о ней, о несовершенстве наших моделей реальности. Проектирование идей фрактальности не только на описание геометрических качеств реальности обнаружило, что фрактальный характер присущ многим другим (и не всем ли?) аспектам организации Природы: аттракторы в динамике систем, архетипы в статике структур систем, равномерность по вероятностной мере распределения выборочных значений наблюдаемых величин, мутовочность биологических видов, самоподобие ветвлений растений, исторические аналогии и т.д.

Свое намерение выявить фрактальность не только количественных проявлений природы, но и явлений, оцениваемых качественно, в слабых измерительных шкалах, Мандельброт реализовал введением строго математического понятия «фрактальное множество» и качественного понятия «природный фрактал». Соответствующее различие динамических процессов сделано в виде построения качественного аналога числового понятия «фазовое пространство»: координаты, фиксируемые в слабых шкалах образуют «фразовое пространство».

Изучение природных явлений обнаружило всеобщность свойства фрактальности, но в то же время показало, что математическая фрактальность является абстрактной, приблизительной моделью организации Природы: реальные системы не фрактальны, а лишь *фракталоподобны*. Прежде всего, это проявляется в том, что число уровней в реальных иерархических системах не бесконечно, как в математических фракталах, а ограничено: иерархия самоподобия начинает развиваться с нижнего уровня *качественно особенных* систем и завершается появлением систем нижнего уровня следующего качественно нового, более высокого уровня развития. Например, иерархия физического микромира завершается появлением химических молекул, биологическая иерархия начинается с появления живой клетки, иерархия социальных систем начинается с элементарных сообществ индивидов (семьи, стаи, первобытной общины). Кроме того, и подобие последующих поколений в реальности не является их тождественностью.

Осознание явления фрактальности стало крупным прорывом в познании того, как «устроена» Природа.

**Контрольные вопросы и задания**

1. Как человек добивается однофункциональности (узкой специализации) искусственной системы при природной многофункциональности любых объектов?
2. Чем вы можете объяснить разную эффективность управляющего воздействия на материальные, энергетические и информационные «рычажные точки» системы?
3. Сформулируйте определения положительной и отрицательной обратных связей.
4. Чем объясняется разнообразие типов поведения систем (архетипов)?
5. Какие особенности динамики систем приводят к образованию фракталов?

---

## ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ СЛОЖНОСТИ

### 9.1. Формирование понятия сложности. Спектр сложностей.

Вообще-то, все науки накапливают разнообразную информацию о Мире, элементом которого является Человек. Но науки о системах особое внимание уделяют *взаимодействиям* людей со своей средой обитания, — *познанию* и *преобразованию* реальности человеком. В изучении активности человека по изменению среды в соответствии со своими целями, особое место занимает выяснение условий успешности достижения цели, определение причин возникновения трудности (*сложности!*) достижения цели, отыскание способов преодоления, обхода, или хотя бы возможного снижения этой сложности. Эта проблематика и составляет предмет *прикладного системного анализа*<sup>1</sup>.

Переход от Века Машин к Веку Систем в деятельности человека (см. главу 7) происходит в виде развития его практики управления в непрерывно изменяющейся среде, все чаще встречающейся с трудностями реализации поставленных целей. В ходе поиска путей преодоления этих трудностей происходило накопление и обобщение опыта работы в «сложных» ситуациях; постепенно росло понимание сущности феномена *сложности* в деятельности человека в окружающей его реальности.

Как всегда, объяснение непонятого сводится к представлению накапливаемой информации в виде трех базовых моделей объясняемого: моделей «черного ящика», состава и структуры. Все трудности в нашей практике проистекают из «сложностей», таящихся в получаемых моделях, которыми мы в дальнейшем руко-

---

<sup>1</sup> Заметим, кстати, что поскольку в английском языке смысл слова *analysis* сводится к редукционизму, т.е. рассмотрению только состава (иногда и структуры) системы, а русский термин *прикладной системный анализ* включает и синтетическое рассмотрение системы (т.е. и модель черного ящика), то в английской системной терминологии ему соответствуют термины *systems thinking* (системное мышление) и *design thinking* (проектное мышление).

водствуемся при разработке, принятии и исполнении наших управленческих решений. Созрело понимание, что источник всех трудностей лежит в том, что наши модели, т.е. представления о реальности, которую мы хотим перевести в желаемое состояние, в чем-то отличаются от действительности; и что эти отличия могут относиться к разным элементам любой из моделей, в результате чего *сложность* может иметь разную природу, различаться по степени сложности и по качественным характеристикам.

## 9.2. Классификации видов сложности

Простейшей моделью разнообразия является *классификация* (см. параграф 3.5). Как и все модели, классификация имеет целевое назначение: для различных целей строятся различные классификации. Рассмотрим наиболее употребимые классификации типов *сложности*, предназначенные для «локализации» причины данного типа сложности (нахождения «рычажных точек»), с последующим определением способов снижения сложности данного типа (полностью или до минимального уровня, возможного в данном случае).

### 9.2.1. Классификация по степени объективной сложности в поведении объекта управления

Исследование динамики систем, подчиняющихся вполне детерминированным дифференциальным уравнениям второго порядка обнаружило дискретность типов поведения таких систем: их траектории в фазовом пространстве сходятся к одной из четырех возможных конфигураций (точечный, циклический, тороидальный и странный *аттракторы*, см. раздел «Аттракторы» в подпараграфе 8.4.3). Настоящей сенсацией стало открытие *случайности* траекторий внутри тороидального и странного аттракторов. Это делает непредсказуемым сколь-нибудь отдаленное будущее системы, что существенно затрудняет управление ею.

Открытие того, что сама природа ограничивает заполнение фазового пространства траекториями динамической системы лишь внутри ограниченной области аттрактора, и к тому же набор аттракторов дискретен и конечен, а сами аттракторы различаются растущей степенью хаотичности траекторий, — явилось одним из трех великих достижений XX века в познании Природы (к первым двум относят теорию относительности и квантовую механику). Ощущение того, что это — не только поразительной красоты физическая закономерность, а проявление всеобщего закона,

справедливого для всех форм организации материального мира, нашло свое подтверждение при рассмотрении химических, биологических и социальных систем: везде наблюдаются аналогичные особенности динамики состояния системы.

В частности, в теории управления социальными системами различаются четыре типа систем: простые (*simple*), усложненные (*complicated*), сложные (*complex*), и хаотические (*chaotic*), — в порядке нарастания сложности управления ими (из-за растущей неопределенности будущего). И для первых трех типов сложности разработаны методы преодоления возникшей трудности (алгоритмы управления). Естественно, алгоритм преодоления конкретной трудности связан с возможностью нейтрализации конкретной причины возникновения сложности, — нехватки какого-то ресурса (вещества, энергии, информации), необходимого для успешного достижения цели. Разным причинам сложности соответствуют разные типы управления (см. параграф 4.3):

- управление *простой* системой (налицо все необходимые ресурсы) — программное управление;
- управление *сложной* системой (при нехватке информации об управляемой системе) — метод проб и ошибок. (Заметьте, что здесь термин «сложная» употребляется в узком смысле, когда причиной сложности является только недостаточная осведомленность об управляемой системе.);
- управление по параметру, или *регулирование* (при малых, компенсируемых расхождениях между модельным и реальным состояниями окружающей среды);
- управление по структуре, *реорганизация* (при больших отклонениях, некомпенсируемых из-за нехватки материальных ресурсов);
- управление по целям (при обнаружении недостижимости текущей цели);
- управление *большими* системами (при дефиците времени на нахождение оптимального решения). (Заметьте, что здесь термины «большая» и «малая» тоже имеют специальный смысл, отличный от бытового.);
- управление при неизвестности конечной цели (при недоступности информации о конечной цели, но при уверенности в существовании лучшего состояния), — эвристический (революционный) и эмпирический (эволюционный) подходы.

Однако по отношению к *хаотическим* (объективно стохастическим) системам вопрос управления стоит иначе: законы при-



роды не подвластны нам, мы не можем изменить природную случайность происходящих событий. Остается только приспособляться к происходящим вокруг неожиданным изменениям, подобно рыбакам в налетевшем шторме, или пилотам, попавшим в зону турбулентности, или серфингисту, лавирующему на своей доске по склону крутой волны. Как выразилась Д. Медоуз, хаотическими системами нельзя управлять, но с ними можно танцевать (*Медоуз Д. Танцы с системами // Проблемы управления в социальных системах, Том 1, Вып. 1, 2009, с. 46—55*).

Системное мышление предлагает набор приемов управления социальными системами, вошедшими в хаотическую фазу своего жизненного цикла. Эти приемы основаны на использовании информации об объективных закономерностях развития Природы, в том числе — фрактальности, смены аттракторов, самоорганизации, и др. (см. главу 8). Однако специалисты предупреждают (*Jackson M.C. Systems Thinking, Wiley, 2009*), что благодаря наличию у людей сознания и свободы воли, развитию глобальных информационных технологий и других факторов, хаос в социальных системах намного сложнее физического хаоса, что требует осторожности в практическом использовании результатов математической теории хаоса.

### **9.2.2. Классификация сложности по типам моделей управляемой системы**

Целенаправленное воздействие на реальность планируется на основе рабочей модели преобразуемой системы. Какая из трех базовых моделей («черный ящик», модель состава, модель структуры) или какая их комбинация должна служить рабочей моделью в конкретном случае, зависит от особенностей данной проблемы и проблемной ситуации. Однако при построении любой конкретной модели в нее могут вкрасться ошибки (см. параграф 2.1), либо построенная модель может оказаться неудобной в использовании. Все это приводит к затруднениям, создает *сложности* в работе. Мы снова сталкиваемся с разными типами сложности, преодоление которых требует разных подходов. Рассмотрим классификацию сложностей, которые могут возникать в каждой из базовых моделей.

#### **Сложность, вызванная большой размерностью модели состава**

В ряде случаев для разработки успешного решения проблемы необходима информация о наличии всех элементов проблемной ситуации, т.е. достаточно полная *модель состава* системы.

Значимость этого требования связана с одним из основных законов кибернетики, — *Законом необходимого разнообразия* Эшби. Разнообразием системы называется число ее возможных состояний. Закон Эшби утверждает, что беспроблемное управление возможно только если разнообразие управляющей системы не меньше разнообразия управляемой системы. Часто сложность связана с недостаточным разнообразием модели состава системы. Встречаются системы, состоящие из очень большого числа элементов. Работа с их моделью состава становится чрезвычайно трудоемкой, *сложной* для выполнения. Причиной сложности в таких случаях является недостаточность имеющихся ресурсов моделирования для завершения обработки всей информации к требуемому моменту времени. В вычислительной математике эту трудность называют «проклятием размерности»; в практике управления такие системы называют «большими». Наглядным примером такой ситуации является задержка в 3—4 года составления Госпланом СССР годового межотраслевого баланса между миллионами производимых и потребляемых видов продукции. Уже одно это (вдобавок к другим сложностям) резко снижало эффективность жестко централизованного оперативного управления народным хозяйством Советского Союза.

Имеется две возможности управления большой системой (см. параграф 4.3); ресурсоемкое физическое ускорение моделирования (повышение мощности компьютеров, распараллеливание технологий моделирования), и ускоренное завершение моделирования за счет упрощения модели (намеренным сокращением числа учитываемых переменных, линейной аппроксимацией нелинейных зависимостей и т.п.), т.е. сознательное получение менее качественного, но зато своевременного решения. В качестве меры сложности больших систем А.Н. Колмогоров предложил использовать длину (число бит в программе) алгоритма, полностью описывающего состав системы.

### **Сложность, вызванная неадекватностью модели структуры**

Известно, что самые характерные свойства системы, эмерджентные свойства, определяются структурой системы (см. параграф 2.3). Поэтому в раскрытии сложности поведения системы так важно выявить именно те особенности структуры, которые и определяют данное эмерджентное свойство системы. Очень наглядно это проявляется при выяснении причин специфических типов поведения систем, — архетипов: причины кроются в наличии в структуре

специфических сочетаний петель обратных связей (см. подпараграф 8.4.2). Это пример изучения обратной системы, т.е. построения модели ее структуры. В тех же случаях, когда в состав рабочей модели управляемой системы входит ее *модель структуры*, сложности управления возникают, если в модели присутствуют какие-либо ошибки любого из 4-х родов (ведь структура есть определенная комбинация входов и выходов всех элементов системы). Борьба с такого типа сложностью состоит в принятии мер по предотвращению появления ошибок в модели структуры (см. параграф 2.1).

**Сложность, вызванная неполнотой информации  
в комбинированной рабочей модели управляемой системы**

Рабочая модель системы может быть комбинацией моделей состава и структуры управляемой системы. Если в рабочей модели недостает любой информации, необходимой для достижения цели, то система попадает в разряд «сложных». Данный термин имеет специфический условный смысл: он обозначает не свойство объекта, а отношение между управляющим субъектом и управляемым объектом, это *сложность от незнания*. Один и тот же объект может быть «сложным» для одного субъекта, и «простым» — для другого: у них модели этого объекта разной степени адекватности. (Для многих управление телевизором — простое дело, а его ремонт — сложное.)

Управление сложными системами такого типа осуществляется по *методу проб и ошибок* (см. параграф 4.3). Этот алгоритм из результата каждого очередного («пробного») шага управления извлекает новую порцию информации о системе, добавляет ее в имеющуюся модель, и затем на улучшенной модели планирует следующее управляющее воздействие. Так с каждым шагом повышается адекватность модели, уменьшается сложность системы, повышается эффективность управления. Мерой такого типа сложности может служить количество совершенных циклов алгоритма, позволившее достичь удовлетворительного приближения к цели.

**Сложность, связанная с вероятностной неопределенностью**

Переход от рассмотренных выше *статических* моделей к моделям *динамическим* приводит к введению еще одного класса сложности — сложности управления *случайными* процессами. Подчеркнем отличие данного типа систем от *хаотических* систем, управление которыми сводится к «танцу» с ними, т.е. к попыт-

кам приспособиться к особенностям конкретной хаотической *реализации*, — путем выявления связей (pattern) между происходящими событиями и совершения попыток «вписаться» в их поток в своих интересах. В данном случае речь идет о возможности использовать информацию не только о наблюдаемой реализации случайного процесса, но и обо всем ансамбле его реализаций, а то и о возможности влиять на характеристики самого процесса.

Такие возможности появляются, если случайность траекторий не полностью *хаотична*, а организована, ограничена определенными рамками, — как это имеет место в *странном аттракторе*, но не только в нем. «Ограничение» состоит в том, что такая случайность полностью характеризуется функцией распределения вероятностей по возможным реализациям случайного явления (события или процесса). Более того, в число ограничений на процесс входят условия *стационарности* (статистической устойчивости каждой реализации) и *эргодичности* (статистической однородности всех реализаций).

Сложность работы с таким объектом вызвана *неопределенностью* предсказания его поведения. Наблюдаемыми или управляемыми параметрами случайного объекта могут быть выбраны подходящие характеристики его распределения, например, параметры положения или масштаба распределения, различные меры связи переменных (корреляции, регрессии); в качестве удобной меры неопределенности распределения К.Шэннон предложил *энтропию*. Любая нужная числовая характеристика случайного объекта может быть выражена неким *функционалом от функции распределения*, вычисленное или статистически оцененное значение которого и используется в работе с объектом.

Возможность управления случайным процессом, т.е. целенаправленного изменения какой-то его характеристики, связана с возможностью изменения его распределения вероятностей. Тут-то на первый план и выступает двойственная природа понятия *вероятности* как меры неопределенности исхода случайного эксперимента. Вероятность исхода определена как мера его возможности *при заданном комплексе условий*. В число условий входят законы стохастической природы явления (которые обуславливают *объективную* составляющую вероятности); но на уровень неопределенности (а следовательно, и на величину вероятности) влияет также степень *знания субъектом* объективных условий, что и порождает *субъективную* компоненту вероятности. (Наглядный пример управления случайным объектом за счет субъективной

части вероятности дают шулера в играх в карты или кости; повышение качества прогноза погоды осуществляется за счет учета *дополнительных* факторов, влияющих на погоду; и т.п.).

Разная степень достоверности знания о распределении вероятностей диктует необходимость по-разному извлекать нужную информацию из одного и того же массива данных. Для разных уровней *априорной информации* о распределении разработаны специальные алгоритмы обработки экспериментальных данных. Математическая статистика состоит из трех разделов:

1) классическая (параметрическая) статистика, исходящая из предположения, что функция распределения *известна* с точностью до конечного числа параметров;

2) непараметрическая статистика, предполагающая, что наблюдения подчинены распределению, функциональный вид которого *неизвестен*;

3) робастная статистика, рассматривающая случаи, когда функция распределения *известна приблизительно*: действительная функция расположена в некоторой окрестности заданной функции.

В соответствии с этим разработаны «Правила статистической безопасности» при работе со случайными объектами. Разработаны также методы включения любой дополнительной (побочной) информации в статистические процедуры анализа данных.

### **Сложность, связанная с «расплывчатой» неопределенностью**

Классификация сложностей будет неполной, если не упомянуть еще один вид сложности, часто возникающий в человеческой практике. Рассмотренные выше типы сложностей характерны для познавательной или преобразовательной деятельности отдельного субъекта, в том числе и в условиях неопределенности, связанной с *вероятностным* характером объекта деятельности. Однако неопределенность в рабочей модели может носить не только *случайный* характер.

В человеческой практике очень часто возникают ситуации, когда определенные виды деятельности должны осуществляться несколькими лицами, совместно и согласованно. Это означает, что у каждого из них должна быть своя рабочая модель ситуации, на которой он планирует свои действия, но для согласованности действий всех участников необходимо, чтобы их разные модели содержали одинаковую информацию об общей ситуации. (Самый древний пример провала коллективного проекта приведен

в библейской притче о неудаче строительства Вавилонской башни из-за несогласованности языков строителей).

Поэтому модели строятся на языках конфигуратора проблемной ситуации (см. параграф 5.5). Если соответствующий язык *профессиональный*, т.е. описывает ситуацию одинаково точно для всех участников коллективной работы (например, профессиональные языки математиков, инженеров или ремонтников), то сложностей в работе не возникает. Но часто (особенно в управлении социальными системами) в конфигуратор входит разговорный язык, с характерной для него многозначностью смысла слов, в особенности — слов оценочных, выражающих градацию качества в слабых измерительных шкалах. Это приводит к осложнениям в совместной работе субъектов из-за придания ими разного смысла одному и тому же оценочному слову. Расплывчатость, неопределенность смысла слов в естественном языке и порождает еще один специфический тип сложности, имеющей сугубо *субъективное происхождение* (поскольку способностью оценивать что-либо обладает только субъект). Практически все разногласия и конфликты, осложняющие совместную деятельность людей, возникают из-за нечеткости классификационных терминов естественного языка («Что такое хорошо, и что такое плохо?»)

Математические средства для описания данного типа сложности были предложены Л. Заде в виде теории *расплывчатых* (нечетких) множеств (*fuzzy sets*). Базовой идеей этой теории стало введение *функции принадлежности*  $\mu_{\text{класс}}(x)$ , — числовой меры для степени уверенности субъекта в принадлежности оцениваемого объекта  $x$  к нечетко заданному классу объектов. Диапазон значений функции принадлежности простирается от 0 («точно не принадлежит») до 1 («точно принадлежит»). В отличие от четкой классификации, в расплывчатой классификации нет четких границ между классами, функции принадлежности к ним могут перекрываться, данный объект может одновременно принадлежать нескольким классам (с разной степенью уверенности).

Например, классификация чисел на три нечетких класса «малые», «средние» и «большие» с точки зрения одного субъекта может определяться пунктирными функциями принадлежности на рис. 9.1, а с точки зрения другого — сплошными.

При их совместной работе приходится вырабатывать решения, учитывающие мнения обоих участников. Для осуществления требуемой обработки информации определены правила вычисления функции принадлежности конкретных комбинаций раз-

ных суждений. Например, для операции «или» ( $\cup$ )  $\mu^1 \cup^2_{\text{класс}}(x) = \max [\mu^1_{\text{класс}}(x), \mu^2_{\text{класс}}(x)]$ ; для операции «и» ( $\cap$ )  $\mu^1 \cap^2_{\text{класс}}(x) = \min [\mu^1_{\text{класс}}(x), \mu^2_{\text{класс}}(x)]$  и т.д.

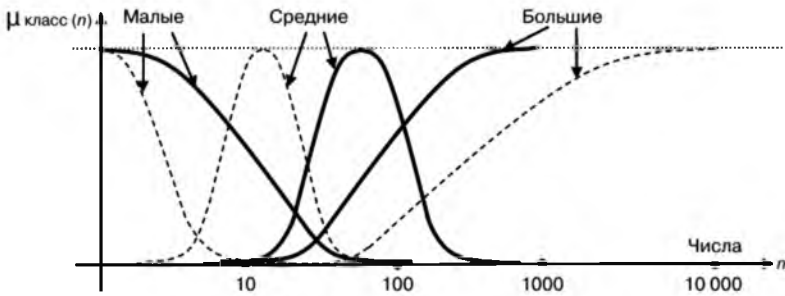


Рис. 9.1. Нечеткие классы чисел

С помощью нечеткой логики формируются управленческие решения при автоматизированной обработке расплывчатой исходной информации об управляемой системе. Стоит отметить, что практики иногда интерпретируют значение функции принадлежности как вероятность. Это грубая ошибка: свойства функции принадлежности и функции распределения вероятностей различаются и по смыслу, и по технике их математических преобразований.

#### Контрольные вопросы

1. Какой смысл вкладывается в оценочное слово «сложный»?
2. Какие характеристики систем выбираются в качестве классификационных признаков для разных классификаций?

В заключение следует еще раз заметить, что классификации, как и вообще любые модели, описывают реальность только с интересующей нас стороны и лишь приблизительно, с удовлетворяющей нас точностью. Действительность всегда более разнообразна, чем наши представления о ней. Поэтому реальные сложности, подстерегающие человека в его взаимодействиях с окружающей средой, могут иметь характер, не отвечающий признакам ни одного отдельного вида сложностей из приведенной выше классификации.

Довольно часто причиной конкретного затруднения, возникшего в работе, оказывается одновременное действие нескольких типов сложности (например, в статистике сочетаются объективная и субъективная неопределенности). Обычно в таких случаях стараются построить гибридный алгоритм для преодоления комбинированной трудности, конструируя подходящую комбинацию способов работы с этими частными трудностями (что является отнюдь не простой задачей).

Однако в практике все чаще приходится сталкиваться с такими природными ситуациями, сложность которых не охватывается нашими рациональными моделями полностью. В профессиональном языке системологии такие проблемы получили название «мягких (soft)», «хаотичных (chaotic)», «беспорядочных, запутанных (wicked)». Хотя некоторые их частичные под-проблемы поддаются формализации (например, методами *исследования операций*), а для других разработано несколько эвристических методик рассмотрения (*методология мягких систем, мозговой штурм, синектика, проектное мышление, рычажные точки, поиск связей — patterns*, и пр.), все же их полное решение находится за пределами рациональности. В практике управления все шире употребляется сознательное использование иррациональных ресурсов мозга, — подсознания, интуиции, абдукции. В стремлении приблизиться к выполнению *закона необходимого разнообразия* Эшби, сложность нашего мозга противопоставляется сложности окружающей нас природы. В одном отношении это уже достигнуто: число возможных сочетаний состояний всех нейронов мозга превышает число элементарных частиц во Вселенной; однако, неизвестно, каковы возможности мозга в переборе различных сочетаний.



*Акофф Р.Л.* Менджмент в XXI веке. Преобразование корпорации. Пер. с англ. Ф.П.Тарасенко, Томск: издательство Томского государственного университета, 2006.

*Акофф Р.Л.* Акофф о менеджменте. СПб.: Питер, 2002.

*Акофф Р., Дж. Магидсон, Г.Дж. Эддисон.* Идеализированное проектирование / пер. с англ. Ф.П. Тарасенко. Днепропетровск: Баланс Бизнес Букс, 2007.

*Альтшулер Г.С.* Найти идею. Новосибирск: Наука, 1986.

*Богданов А.А.* Тектология (всеобщая организационная наука). Кн. 1 и 2. М.: Экономика, 1989.

*Винер Н.* Кибернетика и общество. М.: ИЛ, 1968.

*Волкова В.Н., Денисов А.А.* Основы теории систем и системного анализа. СПб.: издательство СПбГТУ, 1997.

*Джонс Дж.* Методы проектирования. М.: Мир, 1986.

*Загоруйко Н.Г., Елкина В.Н., Лбов Г.С.* Алгоритмы обнаружения эмпирических закономерностей. Новосибирск: Наука, 1985.

*Клир Дж.* Системология. М.: Радио и связь, 1990.

Наука и искусство системной практики: Труды Международного «круглого стола»: IIASA, Лаксенбург, Австрия, 6–8 ноября 1986 г. / Ред. Ф.И. Перегудов, пер. Ф.П. Тарасенко. М.: НИИ ПВШ, 1989.

*Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П.* Основы системного анализа. 3-е изд., испр. и доп. Томск: НТЛ, 2001.

Тарасенко Ф.П. Прикладной системный анализ: Мультимедийный курс на CD-ROM. Томск: Институт дистанционного образования ТГУ, 2007.

Jackson M.C. Systems Thinking: Creative Holism for Managers. John Wiley & Sons Ltd.: University of Hull, UK, 2003.

Warfield J.N. Introduction to Systems Science. Singapore: World Scientific, 2006.