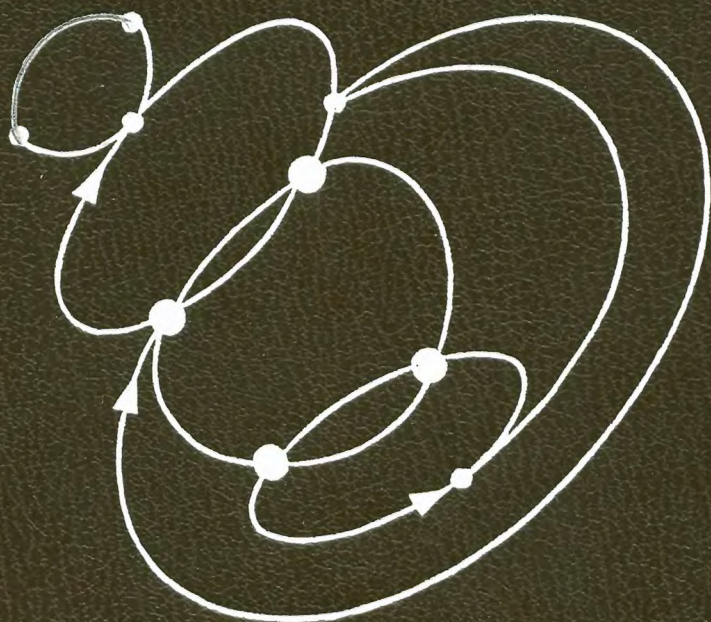


Дж. ван Гиг

# ПРИКЛАДНАЯ ОБЩАЯ ТЕОРИЯ СИСТЕМ 2



# **APPLIED GENERAL SYSTEMS THEORY**

## **SECOND EDITION**

**John P. van Gigch**

**California State University,  
Sacramento**

**Foreword by**

**C. West Churchman**

Professor of Business Administration  
and Director of the Social Sciences Project,  
Space Sciences Laboratory,  
University of California, Berkeley

HARPER & ROW, PUBLISHERS

NEW YORK, HAGERSTOWN, SAN FRANCISCO, LONDON  
1978

*Для научных библиотек*

Дж. ван Гиг

# ПРИКЛАДНАЯ ОБЩАЯ ТЕОРИЯ СИСТЕМ 2

В 2-х книгах

Перевод с англ.

под редакцией канд. физ.-мат. наук Б. Г. Сушкова,  
д-ра философ. наук В. С. Тютина

Издательство «МИР»  
Москва 1981

ББК 22.1  
Г46  
УДК 577.4

Гиг Дж., ван

Г46 Прикладная общая теория систем. Пер. с англ.— М.: Мир, 1981. — 733 с., ил.

Книга американского ученого посвящена проблемам использования методов общей теории систем для разработки и проектирования реальных систем. Изложение сопровождается примерами, взятыми из повседневной действительности. В русском переводе выходит в двух книгах.

Для специалистов, занятых проектированием сложных технических и организационных систем.

Г  $\frac{30501-141}{041(01)-81}$  141-81, ч. 1 2109000000

ББК 22.1

*Редакция литературы по новой технике*

© 1978 by John P. van Gigch  
© Перевод на русский язык, «Мир», 1981



# ОДНО- И МНОГОЦЕЛЕВЫЕ МОДЕЛИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

## Введение

Заключительным шагом процедуры оценивания вариантов является нахождение некоторой модели принятия решений, в рамках которой каждому из возможных вариантов может быть приписано «число очков», или «баллов». Таким образом, модель принятия решений — это по существу процедура оценивания, помогающая делать выбор между вариантами в ходе планирования или исследования проблемы. Вообще говоря, мы ищем способы оценки некоторого процесса преобразования, *на входе* которого имеются затраты и ресурсы, трансформируемые в ходе реализации процесса в доходы и прибыли *на выходе*. Основная трудность при этом возникает из-за наличия большого числа критериев, относящихся как к входам, так и к выходам, а также из-за их несонзмеримости. Для того чтобы обойти эти трудности или справиться с ними, приходится разрабатывать специальные приемы и методы.

## Общий метод

Общим методом построения модели, соответствующей данной конкретной ситуации, является метод, описанный в гл. 5, где рассматривается шаг 6 процесса проектирования системы, а также в гл. 8 при описании алгоритма тестирования и утверждения стратегии. Он состоит из следующих действий, или шагов:

1. После того как закончены первичные наблюдения, найдите основные переменные и параметры, которые могут описать событие или явление.
2. Найдите наиболее подходящие отношения между переменными, которые показывают, как изменения одной из переменных отразятся на значениях других.
3. Установите функциональные зависимости между переменными.
4. Сделайте предположение относительно вида установленных функциональных зависимостей.

5. Проверьте это предположение с привлечением эмпирических данных.

6. Такая экспериментальная проверка должна состоять в сборе данных и в изучении взаимозависимостей между реальными, практическими переменными. Это выполняется сравнением графиков данных с помощью статистических или иных методов.

7. На основе экспериментальных данных оцените коэффициенты функциональной зависимости, установленной на шагах 3 и 4, и постройте модель, которая представит ситуацию и объяснит наблюдаемое явление.

8. Используйте полученную модель для оценки новых ситуаций и вариантов.

Короче говоря, модель служит для выявления зависимостей между переменными, для оценки стоимости производимых изменений, для анализа различных стратегий и для изучения чувствительности результатов к возмущениям.

## Разнообразие моделей

На рис. 11.1 показаны различные модели, которыми располагает лицо, принимающее решение. Внизу под каждым блоком даны номера глав настоящей книги, в которых рассматривается данная модель. Приведем краткое описание этих моделей.

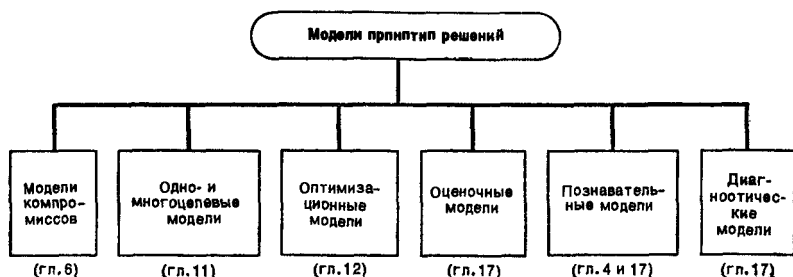


Рис. 11.1. Разнообразие моделей принятия решений.

*Модели компромиссов* — это такие модели, которые описывают способы взвешивания и оценки замен в средствах и целях (гл. 6).

*Одно- и многоцелевые и многомерные модели принятия решений*, с помощью которых могут быть получены оценки и проведены расчеты для осуществления выбора между сложными вариантами (гл. 11).

*Оптимизационные модели*, воплощающие концепцию системы в целом для достижения локальных оптимумов (гл. 12).

*Оценочные модели*, с помощью которых версии и информация объединяются в глобальное, или составное, решение (гл. 17).

*Познавательные модели*, которые описывают, как можно проверить истинность в рамках данного метода рассуждений (гл. 4 и 17).

*Диагностические модели*, устанавливающие методы систематического поиска в случае нарушения нормальной работы системы. Они могут отражать как однозначные, так и неоднозначные расхождения в заданной области (гл. 17).

Модели, обсуждаемые в этой главе, разделяются на типы в зависимости от числа целей, или критериев, которые используются для оценки различных вариантов. Согласно этой классификации модели могут быть одноцелевыми, если у них имеется одна цель, или критерий, и многоцелевыми, когда целей, или критериев, несколько. Модели второго типа можно также называть многокритериальными.

Итак, здесь мы рассмотрим следующие модели:

#### *I. Одноцелевые*

1. Модели прибыль — издержки и их анализ.
2. Модели затраты — эффективность и их анализ.

#### *II. Многоцелевые и многомерные*

1. Многомерные функции полезности, аддитивные и мультипликативные.
2. Общая процедура сравнения сложных многомерных вариантов.
3. Алгоритм Кли.
4. Система оценки факторов окружающей среды.
5. Модель планирования водных ресурсов.
6. Другие модели и методы со многими критериями.
7. Модели типа вход-выход и модели системной динамики.

Оптимизационным моделям будет уделено внимание в следующей главе.

### **I. Одноцелевые модели**

#### **1. Модели типа прибыль — издержки и их анализ**

*Анализ прибыль — издержки* охватывает все те процедуры оценки, при которых рассчитывается один экономический критерий, выражающий: а) *разность* между прибылью и издержками, эффективностью и затратами, входом и выходом и т. п. или б) *отношение* прибыли к издержкам, эффективности к затратам, входа к выходу. Математически *разность* между входом

и выходом модели можно записать в виде выражения

$$v_i = \sum_j^r b_{ij} - \sum_k^s c_{ik}.$$

Аналогичным образом *отношение* входа к выходу, прибыли ( $B$ ) к издержкам ( $C$ ) и т. п. может быть представлено как

$$v_i = \frac{\sum_j^r b_{ij}}{\sum_k^s c_{ik}},$$

где  $v_i$  — значение ( $B - C$ ) или ( $B/C$ ) для варианта  $i$  при  $i = 1, 2, \dots, m$ ;

$b_{ij}$  — значение прибыли  $j$  для варианта  $i$  при  $j = 1, 2, \dots, r$ ;

$c_{ik}$  — значение издержек  $k$  для варианта  $i$  при  $k = 1, 2, \dots, s$ .

До сих пор мы рассматривали прибыли  $b_{ij}$  и издержки  $c_{ik}$  как значения, полученные за один период времени. Формулы можно сделать более универсальными, если для рассмотрения изменения интересующих нас величин ввести срок планирования, который состоит из нескольких периодов планирования. Таким образом, представление о том, что деньги изменяют свою стоимость со временем, вводится в модель, где определяется *разность* ( $B - C$ ) или *отношение* ( $B/C$ ), приведенное к текущему моменту. Так,

$$PV(B - C)_{iT} = \sum_{t=1}^T \frac{B_{it}}{(1+I)^t} - \sum_{t=1}^T \frac{C_{it}}{(1+I)^t},$$

$$PV(B/C)_{iT} = \left[ \sum_{t=1}^T \frac{B_{it}}{(1+I)^t} \right] / \left[ \sum_{t=1}^T \frac{C_{it}}{(1+I)^t} \right],$$

где  $I$  — значение процентной ставки,  $B_{it} = \sum_j^r b_{ijt}$  — суммарная

прибыль за отдельный период  $t$  для варианта  $i$ ,  $C_{it} = \sum_k^s c_{ikt}$  — сумма всех издержек за период  $t$  для варианта  $i$ ,  $PV(B - C)_{iT}$  — полное приведенное значение разности ( $B - C$ ) для всего срока планирования  $T$  для варианта  $i$ ,  $PV(B/C)_{iT}$  — полное приведенное значение отношения ( $B/C$ ) для всего срока планирования  $T$ .

## Оценивание значений ( $B - C$ )

Для того чтобы оценить полное приведенное значение ( $B - C$ ), обратимся к рассмотрению бюджета капиталовложений и прибыли в модели капиталовложения.

### 1. Сравнение полных приведенных значений ( $B - C$ )

Один из простейших методов сравнения заключается в вычислении полных приведенных значений ( $B - C$ ) для каждого вложения капитала и выбора того варианта капиталовложения, при котором это полное приведенное значение окажется наивысшим.

### 2. Использование метода возмещения

Согласно этому методу чистый доход ( $B - C$ ) за период планирования соотносят с величиной полного капиталовложения ( $NI$ ) для того, чтобы определить число периодов, или количество лет, которое потребуется для окупаемости вложенного капитала. Для «некорректируемого» варианта подсчета окупаемости отношение  $NI/(B - C)$  дает число периодов, требуемое для покрытия затрат. В «корректируемом» варианте периодические значения возмущений ( $B - C$ ) должны быть дисконтированы для того, чтобы учесть уменьшение объемов возмещений на будущие годы (периоды планирования).

### 3. Использование собственного коэффициента окупаемости

В этом случае расчеты состоят в определении процентной ставки  $I$ , для которой полное приведенное значение ( $B - C$ ) равно нулю, или, говоря другими словами, дисконтированное значение  $B_{it}$  должно быть равно дисконтированному значению  $C_{it}$  на весь срок вложения капитала, где  $B_{it}$  представляет собой полное значение прибыли от вложения капитала для варианта  $i$ , а  $C_{it}$  есть соответствующая полная величина издержек.

## Графическое представление приведенных значений ( $B - C$ )

Расчетливый бизнесмен вложит свой капитал в те проекты, для которых значение выражения  $PV(B/C)$  равно или больше единицы, где процентная ставка используется для дисконтирования прибыли, а издержки по крайней мере равны цене капитала. При дисконтировании с помощью собственного коэффициента окупаемости ранжирование проектов по значению  $PV(B - C)$  или  $PV(B/C)$  даст эквивалентные результаты. При любых других процентных ставках ранжирование будет отличаться, потому что полное приведенное значение ( $B - C$ ) есть функция процентной ставки, как это следует из таблицы <sup>1)</sup>, пока-

<sup>1)</sup> Quirin G. D., The Capital Investment Decision, © 1967, pp. 47—49, (С разрешения автора и Irwin R. D., Homewood Ill.)

зывающей значения  $PV(B - C)$  для различных норм дисконтирования  $I$ :

| Норма дисконтирования $I$ | Приведенное значение $PV(B - C)$ , долл | Норма дисконтирования $I$ | Приведенное значение $PV(B - C)$ , долл |
|---------------------------|-----------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------------|
| 0                         | 4000                                    | 0,18                      | -34                                     |
| 0,05                      | 2626                                    | 0,20                      | -358                                    |
| 0,10                      | 1468                                    | 0,40                      | -2778                                   |
| 0,16                      | 309                                     |                           |                                         |

На рис. 11.2 приведено графическое изображение зависимости значения  $PV(B - C)$  от процентной ставки  $I$ .

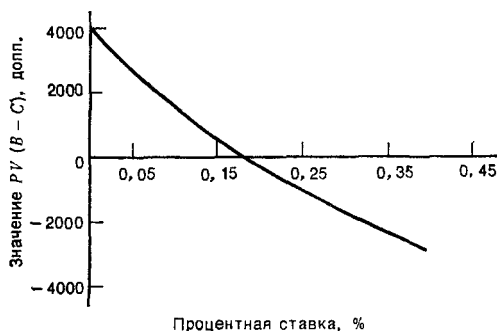


Рис. 11.2. Зависимость  $PV(B - C)$  от процентной ставки  $I$  [1] (С разрешения автора и Irwin R. D, Homewood, Ill.)

Сравним кривые изменения значений  $PV(B - C)$  для двух случаев капиталовложений  $A$  и  $B$  (рис. 11.3). Здесь значение процентной ставки  $I_2$  есть собственный коэффициент окупаемости для проекта  $A$ , когда значение разности прибыль — издержки (или затраты — выпуск) равно нулю. Аналогичным образом  $I_3$  является собственным коэффициентом окупаемости для проекта  $B$ .

| Цена капитала для разного диапазона значений $I$ | Принятие проекта или отказ от него на основе метода $PV(B - C)$ |
|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| $0 < I \leq I_2$                                 | Оба проекта приняты                                             |
| $I_2 < I \leq I_3$                               | Принят только проект $B$                                        |
| $I > I_3$                                        | Ни один из проектов не принят                                   |

Разное ранжирование может возникнуть для случая  $0 < I \leq I_2$ . При  $I < I_1$  проект *A* будет поставлен впереди проекта *B*. Для случая  $I_1 \leq I \leq I_2$  ситуация обратная. Эти различия являются следствием «разницы временных характеристик потоков прибылей», что связано с разными моментами времени, в

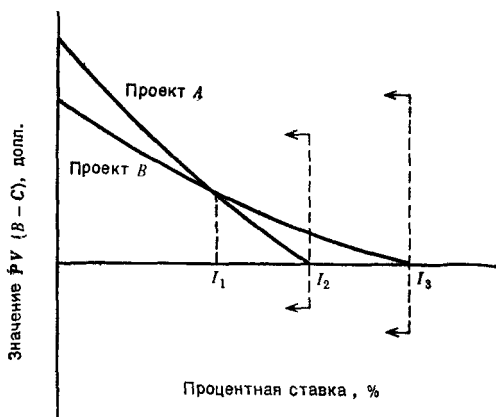


Рис 11.3 Зависимости  $PV(B-C)$  от процентной ставки для двух различных проектов ( $I_2$  — собственный коэффициент окупаемости для проекта *A*,  $I_3$  — собственный коэффициент окупаемости для проекта *B*) [1]. (С разрешения автора и Irwin R. D., Homewood, Ill.)

которые происходят отсчеты потоков прибылей и потоков издержек для каждого проекта. Различие в ранжировании проектов может перерасти в проблему только тогда, когда возникает необходимость в распределении капитала. «Если мы заинтересованы только в принятии решения типа «принять или отбросить», то такие противоречия [в ранжировании] не существенны» [1].

Анализ прибыль — издержки широко использовался в качестве метода сравнения вариантов. Этот метод возник при оценке проектов водных ресурсов; имеется обширная литература по этому вопросу. Закон о борьбе с наводнениями от 1936 г. устанавливает введение критерия в качестве официального метода определения обоснованности принятия проектов по водным ресурсам. В дальнейшем анализ прибыль — издержки был применен и в других работах [2].

Закон о борьбе с наводнениями от 1936 г. требует, чтобы все проекты по водным ресурсам оценивались по определенным схемам. В соответствии с законом, прежде чем приступить к реализации проекта, необходимо провести сравнение капиталовложений и издержек с прибылями и выгодами с помощью анализа прибыль — издержки. Камнем преткновения описанной



в законе процедуры является то, что должны быть «определены все прибыли и издержки на кого бы они ни приходились», а для принятия проекта требуется превышение прибылей над издержками.

Прибыль рассматривалась как «деньги, которые [лицо] желало бы заплатить, если бы была предоставлена возможность рыночного выбора покупки». Рекомендуются агрегирование издержек и прибылей на основе равных весов для всех людей «на кого бы они ни приходились» [3].

Принципы построения оценок типа прибыль — издержки были первоначально сформулированы в так называемой Зеленой книге. Сравнивать проекты по водным ресурсам предлагаемые инструкции рекомендовали на основе отношения прибылей к издержкам [4].

Анализ прибыль — издержки сейчас быстро вытесняется многопараметрическими моделями принятия решений (приводятся ниже в этой главе), которые появились, как и только что рассмотренный метод, в ходе исследования водных ресурсов.

Анализ прибыль — издержки, подобно всем другим инструментам распределения капитала, должен использоваться с осторожностью. Он подходит только в определенных типах принятия решений по капиталовложению. «Экономическая природа затрат должна быть равномерной; в размерах вкладываемого капитала не должно быть экстремальных вариаций. Прибыли должны быть равномерными по крайней мере на уровне замысла, они должны иметь приблизительно равные степени неопределенности, а планируемые сроки завершения проектов, между которыми производится выбор, должны иметь один порядок величин» [5].

На вопрос, является ли анализ прибыль — издержки систематическим, объективным, точным и научным, один автор ответил так: «Я бы выразился осторожно: да, является в такой же степени, как и подавляющая часть общественных наук, и в значительно большей, чем некоторые из них» [6]. Примеры приложения методов анализа прибыль — издержки к программе охраны здоровья и к системе управления утилизацией и ликвидацией отходов приводятся ниже.

### Основные правила измерения и оценки издержек и прибылей <sup>1)</sup>

Анализ прибыль — издержки представляет собой «попытку моделирования такой рыночной ситуации, где по тем или иным

<sup>1)</sup> Во всех случаях, если нет специальных оговорок, идеи, рассматриваемые в этом разделе, взяты из книги Quirin G. D., *The Capital Expenditure Decision*, © 1967, ch. 4. (С разрешения автора и Irwin R. D., Homewood, Ill.) Я особенно признателен д-ру Куирину за неоценимые и своевременные пояснения.

соображениям не существует произвольного обмена, а решения по распределению ресурсов принимаются на правительственном уровне [7]. Основные принципы, которых следует придерживаться при определении значений  $(B - C)$  и  $(B/C)$ , следующие:

1. При оценке издержек и прибылей, касающихся некоторого проекта, следует пользоваться системным подходом, т. е. издержки и прибыли должны приниматься в расчет по всем системам, которые в той или иной степени затрагивает принимаемое решение.

2. Следует использовать инкрементальные (дифференциальные) издержки и прибыли, т. е. разность в издержках и прибылях, получающуюся от реализации проекта или отказа от него.

3. По мере сил и возможностей необходимо принимать во внимание издержки и прибыли, внешние по отношению к данной системе. Прибыли измеряются, «исходя из того, сколько потребители будут готовы платить на рынке за взаимно исключаящие уровни общественно обеспечиваемого товара или услуг... Разработана функция, которая соотносит дополнительные [незначительные] улучшения... с „готовностью платить“ за них... К сожалению... этот подход включает чрезвычайно трудные практические проблемы измерения и требует некоторых „радикальных“ допущений относительно последствий распределения» [8].

4. Следует уделять должное внимание вмененным издержкам.

5. Необходимо рассматривать проекты с соизмеримыми плановыми сроками.

6. Износ, или амортизацию, можно не добавлять в качестве дополнительных расходов, так как возмещение капитала (в неявной форме) учитывается в процедуре дисконтирования при расчете текущих значений издержек и прибылей.

7. Рекомендуются пользоваться полными значениями издержек и прибылей и не вычитать некоторые затраты из полного дохода, так как это нарушит логическую структуру отношения  $B/C$  как инструмента сравнения и изменит значение полученных отношений. Чтобы не нарушать последовательность рассуждений, следует рассчитывать издержки и прибыли раздельно и сравнивать только тогда, когда надо найти их отношение.

8. Когда в планируемую разработку вовлекается несколько систем, таких, как различные органы в одном и том же штате или на разных правительственных уровнях, издержки, которые они понесут, и прибыль, которую получают, следует рассчитывать по каждому органу. В противном случае получаемые отношения могут показать преимущества на том или ином уровне, которые

в действительности не оправданны. Все прибыли и все издержки, будь то частные или общественные, должны приниматься во внимание при расчетах для того, чтобы избежать неправильного распределения ресурсов всего общества.

9. В идеале в качестве составной части системы следует рассматривать внешние факторы, или такие события, которые происходят за пределами непосредственно рассматриваемой системы. Это можно легко выполнить при анализе решений одного из отделов некоторой фирмы. С точки зрения экономики оптимальным распределением ресурсов фирмы будет такое, при котором каждый отдел принимает во внимание внешние события, которые происходят в других отделах в результате решений, принимаемых каждым из отделов фирмы. Иными словами, оптимальное распределение достигается тогда, когда системный подход применяется на уровне всей фирмы, а не на уровне ее отделов. Значительно труднее применить сказанное не к отделам внутри фирмы, а к явлениям, внешним по отношению к фирме. В условиях рыночной конкуренции одна фирма не в состоянии учесть внешние факторы, если другие фирмы этого не делают. В этом случае решение заключается в том, чтобы позволить руководству штата применить системный подход к более крупной системе, в которую войдут все фирмы. Тогда внешние факторы будут вызываться всеми фирмами-системами, а общественные издержки распределяться между ними [9].

Низ отмечает, с каким успехом наука о методах управления оптимизировала целевую функцию фирмы (обычно за счет максимизации прибыли или максимизации сбыта при условии ограничений на прибыль). Модель использовалась для «оптимизации частных издержек, а не какого-либо вида общественных издержек... В них не учитывались внешние издержки производства, которые неизбежно сопровождают внутренние производственные издержки» [10].

10. Одним из наиболее спорных моментов в анализе прибыли — издержки является плановый период проекта. Рекомендуются не придавать особого значения этой проблеме, если такие периоды рассматриваемых проектов одинаковы. В проектах, рассчитанных на очень продолжительные периоды времени, таких, как социальные проекты, за счет дисконтирования выплаты в будущем почти теряют ценность, а следовательно, особого интереса не представляют.

11. Как было показано в предыдущем разделе, выбор соответствующей процентной ставки, или нормы дисконтирования, является острым вопросом, влияющим на выбор проекта. В частном предпринимательстве такие нормы рассматриваются как взвешенные затраты капитала всех типов, используемого фирмой: займы, задержанная зарплата или акции. Цена капи-

тала сейчас рассматривается как вмененная цена, а не как цена, за которую можно фактически получить деньги на рынке. Вмененные цены подразумевают рассмотрение всех возможных случаев вложения капитала, в том числе и тех, которые были отвергнуты. Вопрос о том, что такое «соответствующая норма дисконтирования» для социальных проектов, мы опустим, поскольку это вопрос спорный. Читателю мы рекомендуем обратиться к работам, авторы которых предлагают самые различные нормы дисконтирования, включая нулевую [11—15].

12. По мере сил и возможностей следует определять и включать в рассмотрение так называемые *неуловимости* — не поддающиеся количественному определению факторы. При окончательной оценке и прочих равных условиях они могут повлиять на решение. «Такова сила влияния научной ветви культуры нашего общества: то, что поддается количественному определению, выступает на передний план по сравнению с тем, что невозможно количественно определить, а следовательно, наблюдается тенденция придавать больший вес незначительным факторам, которые удастся точно измерить методами анализа прибыль — издержки, оставляя без внимания существенно важные, не поддающиеся измерению» [16].

13. Анализ прибыль — издержки более сложен, чем может показаться на первый взгляд. Трудности начинаются уже при следовании определенным правилам оценки издержек и прибылей, а также при выборе соответствующей процентной ставки, о чем мы упоминали выше. Автор работы [17] утверждает, что «анализ прибылей и издержек... определяется как экономическое изменение, при котором доходы могут быть распределены таким образом, чтобы все заинтересованные оказались в выигрыше». Для этого требуется, «чтобы те, кто выиграл, компенсировали бы другим их потери». Издержки и прибыли следует подсчитывать как вмененные показатели, т. е. как разность между оптимальными прибылями и издержками и теми, которые явятся результатом реализации данного проекта.

14. Вопрос о включении в расчеты и оценке вторичных прибылей всегда являлся предметом споров специалистов [18]. Проблемы распределения дохода и ресурсов для фирм, связанных с окружающей средой, рассматриваются в работе [19].

### **Пример анализа прибыль — издержки: программа лечения наркоманов метадон**

Реализация многих программ, связанных со здравоохранением и благосостоянием, зависит от наличия общественных фондов. Для того чтобы фонды были выделены на ту или иную программу, надо обосновать правильность и необходимость этой

программы. Хорошим примером может служить обоснование программы лечения метадонем, которая оказалась эффективной для излечения наркоманов, употребляющих героин.

Из приводимой ниже выдержки<sup>1)</sup> видно, как была получена информация, необходимая для доказательства того, что расходы, которые несет общество из-за наркомании и наркоманов, могут быть существенно снижены в результате принятия программы лечения метадонем.

В табл. 11.1 показаны три типа затрат, которые были выделены в ходе исследования проблемы. Важно отметить, как были получены эти данные.

Все пациенты, зарегистрированные в клинике, проводящей лечение метадонем, были опрошены... [Тех пациентов, которые закончили лечение] разыскали и выяснили у них, как обстоят дела с употреблением наркотика. Им задавали вопросы, связанные с эффективностью метадона: насколько он снижал потребность в героине; каковы изменения в частоте и количестве приемов героина; каковы изменения в социальном и экономическом положении пациента в результате проведенного лечения метадонем. Вопросы затрагивали деятельность пациентов в 1969 г., в течение которого они проходили лечение метадонем, по сравнению с их деятельностью на протяжении 12 мес., непосредственно предшествовавших началу лечения.

Были также выяснены привычки пациентов, касающиеся употребления наркотика и средней ежедневной стоимости героина за период его фактического употребления. Пациентам задавали вопросы о том, откуда они брали деньги на героин: какой процент суточного потребления покрывался продажей наркотиков, воровством, очисткой карманов, жульничеством с номерками в гардеробах, проституцией, зарплатой, за счет жены (мужа), семьи, благотворительности и т. д. ...

В дополнение к сведениям, полученным благодаря опросу 81 наркомана, использованы были также результаты опроса сослуживцев, характеристики от адвокатов и данные анамнеза при регистрации в клинике.

Хроническое употребление героина является одной из главных медицинских, социальных и экономических проблем нашего времени. Метод лечения метадонем, как показали данные, оказался эффективным в борьбе против пагубного пристрастия к героину. Злоупотребление наркотиком, число арестов и дней, проведенных в тюрьме, значительно снижается у тех наркоманов, которые прошли курс лечения метадонем. В данной работе результаты достижений клиники лечения метадонем при городской больнице Нью-Йорка приводятся в пересчете на язык экономики. Затраты общества на 81 наркомана рассматриваются и подсчитываются исходя из доходов и налогов на эти доходы. Баланс подводился по данным до и после проведения лечения метадонем.

<sup>1)</sup> Заимствовано из работы Cushman P., Methadone Maintenance in Hard-Core Criminal Addicts, *New York State Journal of Medicine*, 71, 14 (July 15, 1971). (С разрешения автора и *New York Journal of Medicine*, Copyright by the Medical Society of the State of New York) По этому вопросу см также Cushman P., Heroin's Huge Cost and a Possible Remedy, *Wall Street Journal* (1 February 1971).

Таблица 11.1

Сравнение прямых и косвенных расходов общества за год в связи с наркоманией до и после принятия программы лечения метадонном <sup>1)</sup>

|                                                                                                | Затраты в год, долл.  |                          |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|--------------------------|
|                                                                                                | до принятия программы | после принятия программы |
| Прямые расходы общества                                                                        |                       |                          |
| на благотворительность                                                                         | 24 000 *              | 17 500                   |
| на больницы                                                                                    | 80 000                | 0                        |
| на аресты, задержание и содержание в тюрьме                                                    | 33 000                | 500                      |
| на клинику лечения метадонном (все затраты)                                                    | 0                     | 180 000                  |
| Итого                                                                                          | 137 000               | 198 000                  |
| Косвенные расходы общества                                                                     |                       |                          |
| кражи                                                                                          | 732 000               | 0 **                     |
| махинации с номерками в гардеробах                                                             | 50 000                | 0 **                     |
| Итого                                                                                          | 782 000               | 0                        |
| Другие косвенные расходы общества                                                              |                       |                          |
| борьба с торговлей наркотиками                                                                 | н. д.                 | н. д.                    |
| поддержание порядка и расследование преступлений                                               | н. д.                 | н. д.                    |
| аресты, преследование по закону, адвокатура, освобождение на поруки, судебное делопроизводство | н. д.                 | н. д.                    |
| Итого                                                                                          | —                     | —                        |
| Общие расходы                                                                                  | 919 000               | 198 000                  |
| Баланс                                                                                         |                       | 721 000                  |
| Доход                                                                                          |                       |                          |
| объявленный доход                                                                              | 128 500               | 277 000                  |
| уплаченный налог                                                                               | 13 000                | 37 000                   |

\* Данные округлены.

\*\* Публикации не подлежат.

н. д. — нет данных.

<sup>1)</sup> Заимствовано из работы Cushman P., Methadone Maintenance in Hard-Core Criminal Addicts, *New York Journal of Medicine*, 71, 14 (July 15, 1971). (С разрешения автора и Medical Society of the State of New York.)

### Затраты общества до и после проведения лечения

Для того чтобы показать, что программа лечения метадонотом выгодна для общества, были подсчитаны затраты на наркоманов, употребляющих героин, до и после принятия программы.

#### ПРЯМЫЕ РАСХОДЫ

*Занятость и благосостояние.* Графа «Доход» в табл. 11.1 показывает разницу в объявленном доходе по периодам — до и после лечения. Величина дохода (доход, не заявленный налоговым органам, в нее не входит) показывает низкие заработки группы обследованных за годичный период до начала лечения метадонотом... Именно по цифрам объявленного дохода и оплаченного налога особенно наглядно видны результаты экономического возрождения группы бывших наркоманов.

Уменьшение [затрат на благотворительность] в графе «после принятия программы» отражает тот факт, что большая часть из них занята на работе... [Работа] пациентов регистрировалась по занимаемой должности. В течение года, предшествовавшего началу лечения, работу имели только 37% наркоманов. В 1969 г. трудовой деятельностью было охвачено уже 72% наркоманов. Хотя распределение по должностям для этих периодов было сходным, прослеживалась тенденция к повышению зарплаты и ответственности.

*Больничные расходы.* К этой категории затрат относятся расходы на стационарное лечение от отравления героином, а также другие больничные расходы на лечение, связанное с употреблением героина. В течение года, предшествовавшего лечению метадонотом, эти расходы достигали 80 000 долл. по сравнению с полным их отсутствием в период после начала такого лечения. *Аресты, задержания и расходы на содержание в тюрьме.* Сумма 33 000 долл., соответствующая этой категории расходов общества, включает 28 000 долл., которые были потрачены на тюремное содержание, и 5000 долл., израсходованных на меры по аресту и задержанию. Приведенные цифры представлены департаментом исправительных мероприятий штата и города Нью-Йорка. Расходы основаны на подсчете суточных затрат, куда входят оплата охраны, накладные расходы, содержание и небольшие услуги.

#### КОСВЕННЫЕ РАСХОДЫ

Было подсчитано, что 81 наркоман из группы, подвергшейся обследованию, потребил героина на ~900 000 долл. Чтобы заплатить такую сумму, были похищены товары, которые по умеренным рыночным ценам обошлись обществу в 732 000 долл. Разница была покрыта за счет торговли наркотиками, проституции, махинаций с номерками и других аналогичных источников.

Остальные косвенные расходы, которые невозможно подсчитать за неимением критериев и данных, включают «значитель-

ные суммы денег и объемы ресурсов [затрачиваемых обществом] на борьбу с ввозом, распространением и продажей героина». «Дополнительные большие суммы, изымаемые из общественных средств», идут на охрану порядка и расследование преступлений, на органы прокуратуры, судопроизводства, на программы борьбы с наркоманией и т. п. Результаты длительного употребления героина не рассматривались и не упоминались, поскольку неизвестно, как оценивать подобные случаи.

#### **Программа лечения метадонем и прибыли**

Рассмотрение табл. 11.1 показывает, что полные затраты на содержание клиники по лечению метадонем при больничном центре св. Луки в 1969 г. оценивались в 180 000 долл. «Эти средства были потрачены на непосредственное обслуживание пациентов (место, питание, метадон, лабораторные анализы, остальные лекарства), а также на выплату зарплаты пяти воспитателям, двум медицинским сестрам, специалисту (совместителю) по социальной психиатрии и врачу. Указанные затраты включают также «административные и юридические расходы, расходы по сбору данных и оплату услуг службы психиатра».

Остальные затраты на осуществление программы лечения метадонем за год достигают 18 000 долл. Выполнение программы лечения метадонем позволило сэкономить 721 000 долл. «Чисто финансовый анализ проведенного исследования документально показывает, в какой степени изучавшаяся группа наркоманов превратилась из статьи расходов в актив для всего общества» [20]. Такой анализ также убеждает в том, что итоговые соотношения выгод и затрат при выполнении социальных программ можно подсчитать с такой степенью точности и наглядности, что необходимость поддержки программ будет очевидна и для планировщиков, и для администраторов, и для широких кругов общественности. При проведении такого анализа для оценки полных издержек и прибылей, или экономии для общества, требуется применение системного подхода. Для этого также необходимо глубокое понимание того, где искать источники необходимых данных.

#### **Пример анализа прибыль — издержки: проблема утилизации или ликвидации изношенных автомобильных шин <sup>1)</sup>**

Рассматриваемый здесь пример касается актуальной проблемы реального мира — утилизации и ликвидации изношенных

<sup>1)</sup> Заимствовано из работы Westerman R. R., The Management of Waste Passenger Car Tires, Ph. D. Dissertation, University of Pennsylvania, 1974.



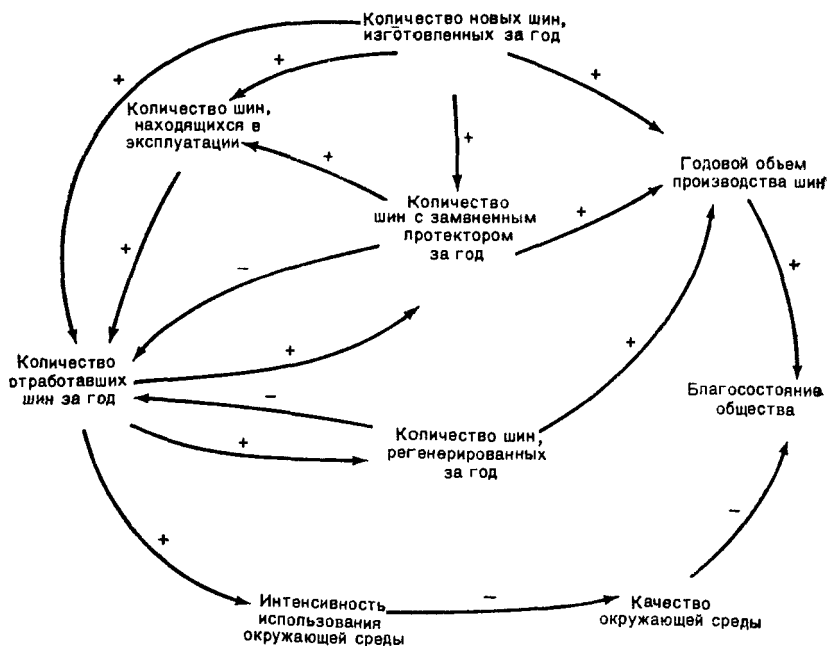


Рис. 11.4. Цикл производства, эксплуатации и утилизации шин легковых автомобилей и их пути в системе. Стрелки показывают взаимодействие между компонентами системы; знаки + и — указывают возрастание и уменьшение значений характеристик компонентов системы; знак — показывает, что отношение между характеристиками обратное. Например, по мере того как количество новых шин возрастает, увеличивается число отработавших шин, соответственно возрастает интенсивность использования окружающей среды в качестве «мусорной ямы» и при этом качество самой окружающей среды снижается; по мере ухудшения окружающей среды уменьшается благосостояние общества. Заимствовано из работы Westerman R. R., *The Management of Waste Passenger Tires*.

изделий. Мы исследуем конкретный вопрос о производстве и ликвидации автомобильных шин. Продолжительность жизни, или срок службы, автомобильной шины зависит от ее качества и в конечном счете от того, как и когда ее выбросили.

На рис. 11.4 показана система производства автомобильных шин и взаимозависимости ее частей.

#### Использованные промышленные изделия

Отработавшие свой век предметы потребления составляют только часть того, что поступает на свалку, но проблемы, связанные с ними, достаточно серьезны. Каждый год выбрасывают очень много холодильников, стиральных

машин, сушилок, телевизоров, мебели, автомобилей, автомобильных шин и т. п. В 1975 г. число изношенных автомобилей и шин должно составить соответственно 75 и 200 млн. штук. Год за годом поток выброшенных предметов возрастает.

Использованные промышленные изделия — это большие предметы, сбор, транспортировка, обработка и ликвидация которых связаны с решением особых, необычных проблем как в общественном, так и в частном секторе. Требуются специальные машины для сбора таких предметов и доставки их к местам ликвидации. Для уничтожения изделий необходимо специализированное оборудование: более тяжелое прессовое оборудование для захоронения в землю или специальные печи для сжигания автомобильных шин. Такое оборудование и связанные с ним операции удорожают и без того дорогостоящие операции по сбору, обработке и уничтожению обычного мусора.

Количество изношенных изделий и стоимость их ликвидации определяют конструктивными особенностями. Существует обратная зависимость между расчетным сроком службы изделия и скоростью его износа. Современные автомобили служат в среднем десять лет; основная часть автомобилей, выпущенных и проданных в 1975 г., пойдет на свалку в 1985 г. Каждый год из строя выходит 75 млн. корпусов автомобилей; новые конструкции машин, рассчитанные на пятнадцатилетний срок службы, снизят это число до 50 млн. Конечно, наличие машин устаревающих конструкций и общий рост числа продаваемых машин сглаживают эту картину на некоторое время. Тем не менее темпы накопления отработанных предметов длительного пользования можно контролировать путем изменения конструкции данного предмета.

Экономия за счет снижения темпов накопления изношенных промышленных изделий очень велика. Замена предметов потребления, срок службы которых невелик, на такие, которые находятся в эксплуатации более продолжительное время, приносит выгоду за счет уменьшения общего количества устаревших предметов. Эта выгода складывается из а) экономии средств на сбор, обработку, перевозку и ликвидацию использованных предметов и б) повышения эстетической и экологической ценности местности за счет снижения количества мусора, лома и другого утиля, как находящегося на поверхности земли, так и в почве. Предметы с большим сроком службы могут принести выгоду за счет экономии от продления сроков амортизации; у потребителя появляется возможность не так часто тратить на покупку нового предмета. Величина такой выгоды в денежном выражении может быть очень велика.

В то же время увеличение срока службы приводит к уменьшению числа продаваемых предметов за данный период, что затрагивает интересы как изготовителей, так и торгующих организаций. Так, стиральных машин, имеющих вдвое больший срок службы, за данный плановый период времени будет продано вдвое меньше. Промышленники, даже если они и найдут такие конструктивные возможности, которые без дополнительных затрат продлят срок службы их продукции, такие возможности не реализуют. Напротив, они будут искать материалы и конструкции, которые обеспечат меньший срок службы при незначительном увеличении затрат. Такая стратегия расширяет рынок, обеспечивает получение более высокой прибыли торгующим организациям и крупным фирмам. Доктрина, гласящая, что «самой выгодной является стратегия, приносящая наибольшую пользу обществу», сталкивается с интересами частного капитала.

Экономические и экологические взаимозависимости между продолжительностью срока службы предмета и проблемами, связанными с его износом, можно проиллюстрировать на анализе положения дел с каким-нибудь одним видом изделия. Структуры прибылей и издержек, связанные с производством и ликвидацией предметов, имеющих большой срок службы, должны иметь много общих черт. Следовательно, на примере с шинами для легковых автомобилей можно получить представление о всей проблеме ликвидации устаревшей продукции.

## Проблема утилизации или ликвидации автомобильных шин

Двести миллионов шин для легковых автомобилей было списано в утиль в Соединенных Штатах в 1975 г.; в каждом последующем году ожидается то же количество. Традиционные приемы по сбору, переработке и захоронению к шинам неприменимы. Отработавшие шины — это особая проблема.

Можно с уверенностью сказать, что на сегодняшний день не существует способа утилизации и ликвидации сколько-нибудь значительной части из общего потока изношенных автомобильных шин. Только 30% таких шин регенерируется или идет в химическую переработку. Остальные продолжают накапливаться. Это, конечно, не решение проблемы, а уход от нее, который можно объяснить причинами экономического характера.

Затраты на ликвидацию отработавших и не утилизируемых шин перевешивают выгоды. Все пять основных операций, связанных со сбором, транспортировкой и регенерацией шин, не приносят экономической выгоды ни шинной промышленности, ни потребителям, ни частным предпринимателям.

Альтернативой проблеме ликвидации отработавших шин является проблема продления срока их службы. Диагональные шины, которые сейчас преимущественно используются, рассчитаны на ~41 000 км пути. При пробеге в год 16 000 км эти шины прослужат примерно 2,5 года. Итак, каждые 2,5 года шины поступают в отходы. Если шины рассчитаны на больший срок службы, отходов будет меньше. За тот же период 2,5 года радиальные шины, рассчитанные на пробег 60 000 км, изнашиваются только  $\frac{2}{3}$ . А шины, предназначенные для работы без замены в течение срока жизни автомобиля (т.е. при прохождении 160 000 км), за 2,5 года будут изнашиваться на  $\frac{1}{4}$ .

Путем изготовления шин с более длительным сроком службы, из расчета 160 000 км пробега, можно уменьшить число устаревших шин на 75%. Вместо 200 млн. отслуживших легковых шин в год мы будем иметь дело с 50 млн. шин в год, пока не придет время установления стационарного режима для потока отработавших шин. При переходе на шины, рассчитанные на 160 000 км пробега, можно будет экономить ежегодно от 70 до 150 млн. долл.

## Оценка возможных стратегий, издержек и прибылей

Данная задача по отработавшим автомобильным шинам допускает следующие возможные стратегии:

1. Сжигание шин для получения тепловой энергии.
2. Использование в качестве добавки в асфальт.
3. Переработку шин с последующим использованием в балластном слое при строительстве дорог.
4. Использование в измельченном виде для проведения земельных работ.
5. Деструктивную перегонку.
6. Регенерацию (восстановление протектора).
7. Удлинение срока службы (использование при пробеге на расстояние до 60 000 км).
8. Удлинение срока службы (использование при пробеге на расстояние до 160 000 км).

Уэстермен рассматривает приведенные стратегии с помощью модели прибыль — издержки. Он выделяет пять вариантов прибыли ( $b_{ij}$ ) и девять вариантов издержек ( $c_{ij}$ ), используя которые он подсчитывает относительные достоинства каждого варианта стратегий.

Варианты прибыли (выгод) для восьми возможных стратегий (от  $b_{11}$  до  $b_{85}$ ):

1. Повышение стоимости изделия и уменьшение объема отходов.

2. Снижение цены на готовое изделие — экономия для покупателя.

3. Возможность передачи средств на другие цели в рамках данной корпорации.

4. Эстетические и экологические выгоды и преимущества.

5. Хранение (отсутствие или игнорирование необходимости принятия мер по ликвидации).

Варианты издержек для тех же стратегий (от  $c_{11}$  до  $c_{89}$ ):

1. Отведение мест для отработавших шин.

2. Учет и отчетность.

3. Периодический сбор шин, идущих на свалку.

4. Транспортировка до мест переработки и ликвидации.

5. Компрессия.

6. Переработка и оставшиеся отходы.

7. Управленческие и торговые издержки.

8. Вмененные издержки.

9. Налог на прибыль.

Цель, заключающаяся в утилизации части отработавших шин и уменьшении отходов, формулируется с помощью критерия суммарной прибыли. Коэффициенты стоимости  $v_i$

$$v_i = \sum_j^r b_{ij} - \sum_k^s c_{ik}$$

для каждой из рассматриваемых стратегий утилизации списанных автомобильных шин представлены как разность между общей прибылью по данному варианту (всеми элементами положительного воздействия на благосостояние общества) и соответственными общими издержками (всеми элементами отрицательного характера). Индекс  $i = 1, 2, \dots, 8$  относится к восьми возможным стратегиям;  $j = 1, 2, \dots, 5$  указывает одну из пяти прибылей (выгод), а  $k = 1, 2, \dots, 9$  — одну из девяти рассматриваемых издержек.

Затраты и выгоды для всех вариантов сведены в матрицу прибыль — издержки (табл.11.2). Анализ представленных таким образом данных выполняется с помощью линейного программирования путем подсчета теневых цен и вмененных издержек компромиссов (см. гл. 6). Параметрические отклонения в задаче по отработавшим автомобильным шинам, которые могут повлиять на принимаемые решения, сведены к следующим: различные цены на шины с ресурсом 160 000 км; снижение цен на шины с ресурсом 60 000 км; снижение затрат на производство

Таблица 11.2

Матрица прибыль — издержки для всех вариантов <sup>1)</sup>

| Вариант                                    | Прибыль                                          |               |                                        |                                      |          | Издержки        |          |                       |                 |            |                      |                                    |                    |                  |
|--------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------|----------------------------------------|--------------------------------------|----------|-----------------|----------|-----------------------|-----------------|------------|----------------------|------------------------------------|--------------------|------------------|
| 1. Ожигание                                | $V_{11}$                                         | $V_{12}$      | $V_{13}$                               | $V_{14}$                             | $V_{15}$ | $C_{11}$        | $C_{12}$ | $C_{13}$              | $C_{14}$        | $C_{15}$   | $C_{16}$             | $C_{17}$                           | $C_{18}$           | $C_{19}$         |
| 2. Добавка в асфальт                       | $V_{21}$                                         | $V_{22}$      | $V_{23}$                               | $V_{24}$                             | $V_{25}$ | $C_{21}$        | $C_{22}$ | $C_{23}$              | $C_{24}$        | $C_{25}$   | $C_{26}$             | $C_{27}$                           | $C_{28}$           | $C_{29}$         |
| 3. Добавка в балластный спой               | $V_{31}$                                         | $V_{32}$      | $V_{33}$                               | $V_{34}$                             | $V_{35}$ | $C_{31}$        | $C_{32}$ | $C_{33}$              | $C_{34}$        | $C_{35}$   | $C_{36}$             | $C_{37}$                           | $C_{38}$           | $C_{39}$         |
| 4. Земельные работы                        | $V_{41}$                                         | $V_{42}$      | $V_{43}$                               | $V_{44}$                             | $V_{45}$ | $C_{41}$        | $C_{42}$ | $C_{43}$              | $C_{44}$        | $C_{45}$   | $C_{46}$             | $C_{47}$                           | $C_{48}$           | $C_{49}$         |
| 5. Деструктивная перегонка                 | $V_{51}$                                         | $V_{52}$      | $V_{53}$                               | $V_{54}$                             | $V_{55}$ | $C_{51}$        | $C_{52}$ | $C_{53}$              | $C_{54}$        | $C_{55}$   | $C_{56}$             | $C_{57}$                           | $C_{58}$           | $C_{59}$         |
| 6. Регенерация (восстановление протектора) | $V_{61}$                                         | $V_{62}$      | $V_{63}$                               | $V_{64}$                             | $V_{65}$ | $C_{61}$        | $C_{62}$ | $C_{63}$              | $C_{64}$        | $C_{65}$   | $C_{66}$             | $C_{67}$                           | $C_{68}$           | $C_{69}$         |
| 7. Производство шин с ресурсом 60 000 км   | $V_{71}$                                         | $V_{72}$      | $V_{73}$                               | $V_{74}$                             | $V_{75}$ | $C_{71}$        | $C_{72}$ | $C_{73}$              | $C_{74}$        | $C_{75}$   | $C_{76}$             | $C_{77}$                           | $C_{78}$           | $C_{79}$         |
| 8. Производство шин с ресурсом 160 000 км  | $V_{81}$                                         | $V_{82}$      | $V_{83}$                               | $V_{84}$                             | $V_{85}$ | $C_{81}$        | $C_{82}$ | $C_{83}$              | $C_{84}$        | $C_{85}$   | $C_{86}$             | $C_{87}$                           | $C_{88}$           | $C_{89}$         |
|                                            | (1)                                              | (2)           | (3)                                    | (4)                                  | (5)      | (1)             | (2)      | (3)                   | (4)             | (5)        | (6)                  | (7)                                | (8)                | (9)              |
|                                            | Повышение стоимости изделия и уменьшение отходов | Снижение цены | Перераспределение средств в корпорации | Эстетический и экологический факторы | Хранение | Отведение места | Учет     | Сбор отработавших шин | Транспортировка | Компрессия | Переработка и отходы | Управленческие и торговые издержки | Внешенные издержки | Налог на прибыль |

<sup>1)</sup> Заимствовано из работы Westerman R. R., The Management of Waste Passenger Tires.

шин; различные цены на шины для дорожного балласта; изменение нормы дисконтирования; возрастание значения экологического фактора.

## Выводы

Анализ прибылей и издержек подтвердил ту точку зрения, что вопрос изготовления шин с повышенным сроком службы, как это показано на двух рассмотренных в данной работе стратегиях, заслуживает серьезного внимания. Поскольку некоторые промышленные предприятия, занятые изготовлением шин, прекратят существование, вариант создания шин с более долгим сроком службы, чем тех, которые находятся в эксплуатации сейчас, несет в себе значительные преимущества и для потребителя, и для органов охраны окружающей среды. Если допустить, что шинная промышленность выберет самую лучшую возможность — производство шин, рассчитанных на 160 000 км, то упадет потребность в 75% всего количества новых шин. Однако в том случае, если одна шина с ресурсом 160 000 км заменит

четыре диагональные шины (чем принесет убыток размером 27 долл. за штуку), а цена новой шины будет установлена 108 долл., при сбыте продукции денежных потерь не произойдет. Напротив, промышленность получит дополнительную прибыль за счет снижения затрат по ликвидации отработавших шин. Значительные выгоды получит общество за счет экономии ресурсов. Ведь на меньшее число шин потребуется меньше материалов, а кроме того, облегчится проведение мероприятий по защите окружающей среды, поскольку станет меньше шин, идущих на свалку и в переработку. Условия окружающей среды улучшаются, когда снижается объем отходов.

Проведенный анализ показывает, что можно считать социально обоснованным требование о том, чтобы срок службы шин легковых автомобилей был приравнен к сроку службы самого автомобиля. Экономически наиболее предпочтительным вариантом из всех рассмотренных стратегий решения проблемы ликвидации отработавших шин оказался восьмой вариант: переход на изготовление шин, рассчитанных на пробег 160 000 км. Уэстермен очень настойчиво рекомендует промышленности и правительству сотрудничать в разработке таких шин, поскольку они выгодны всем заинтересованным сторонам.

## 2. Модели затраты — эффективность и их анализ

При анализе затраты ( $C$ ) — эффективность ( $E$ ) сравнение проводится между эффективностью данного варианта, т. е. эффективностью достижения заданной цели для этого случая, и затрачиваемыми средствами. Как нетрудно понять, анализ затраты — эффективность ( $C/E$ ) сходен с рассмотренным анализом прибыль — издержки ( $B/C$ ) или ( $B - C$ ); отличие заключается в том, что эффективность не обязательно дается в денежном выражении.

### Затраты — эффективность

Как видно из названия, анализ соотносит затраты с эффективностью рассматриваемой системы. Под эффективностью понимается степень достижения ряда целей. Затраты касаются не только капитала (в долларах), но также всех ресурсов, которые могут быть задействованы для получения данного уровня, или степени, эффективности. Нам желательно найти такой вариант, который позволил бы максимизировать степень достижения цели при тех же затратах или при котором данная цель была бы достигнута при минимальных затратах.

За действиями при анализе эффективности затрат стоит следующая последовательность рассуждений.

### Установление выходов<sup>1)</sup>

Если бы мы все время имели дело с изготовлением чего-то «в штуках», то установить и измерить выходы было бы довольно просто. Однако для систем, конечный продукт которых не выражается в штуках, определить «выход» значительно труднее. Понятие «выход» заменяется на а) достигнутый результат, б) степень выполнения задания, или достижения цели, или на в) эффективность достигнутой цели. На производстве эффективность можно измерять числом изготовленных единиц продукции; на уровне управления — уровнем служебной иерархии; в военном деле — числом выполненных боевых задач. Во всех случаях меру выхода должно сопровождать какое-то указание на качество, будь то продукт, служба или боевая задача.

### Возможности получения равных выходов

Одни и те же выходы получаются при различных комбинациях входов. Лицо, принимающее решение, хочет найти разнообразные комбинации входов, при которых могут быть получены равные выходы. Если воспользоваться экономическим термином, можно сказать, что ЛПР намеревается получить «кривые равного выхода», которые являются геометрическим представлением равных выходов для различных комбинаций входов.

### Равноценные комбинации затрат, или ресурсов

Параллельно с описанными выше подсчетами возможных выходов у ЛПР может появиться желание установить различные комбинации входов, которые могут иметь место при данном размере затрат. Так получают информацию о том, какие возможности существуют при бюджетах различного размера.

### Кривые затраты — эффективность

По крайней мере умозрительно можно построить кривые бюджета и равного выхода таким образом, чтобы получить точки наименьших затрат для любого уровня выхода или же точки наивысшего выхода для заданного капиталовложения. По этим точкам можно построить так называемую кривую затрат. Применительно к деловой сфере или промышленности кривую затрат можно использовать совместно с кривой дохода так, чтобы получить тот уровень выхода, при котором величина при-

<sup>1)</sup> Заимствовано из работы Grosse R. N., Introduction to Cost-Effectiveness Analysis, McLean, Virginia, Research Analysis Corporation, Paper RAC-P-5, 1965. Я признателен д-ру Гроссу за разрешение воспользоваться этой работой.

были будет максимальной. К областям, в которых для выходной продукции не существует рынка, следует применять иной ход

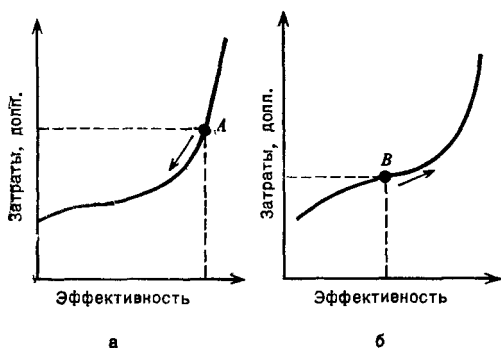


Рис. 11.5. Зависимости затраты — эффективность для двух вариантов [21]. (Воспроизводится с разрешения.)

рассуждений. В этом случае понятие выхода мы заменим понятием «уровень эффективности» и попытаемся найти меру соотношения между уровнями эффективности и затрат. Нам было

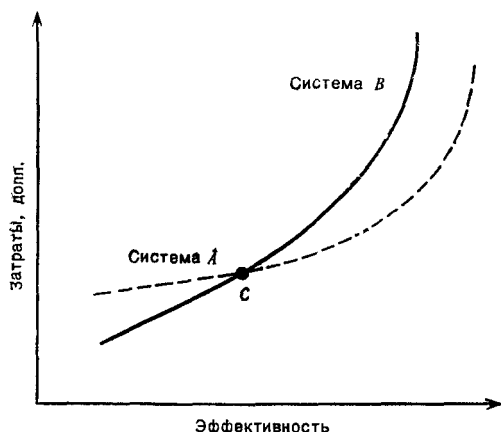


Рис. 11.6. Кривые затраты — эффективность для двух вариантов системы [21]. (Воспроизводится с разрешения.)

бы желательно получить ответ на такой вопрос: каковы должны быть комбинации минимальных входных затрат, которые обеспечат некоторый заданный уровень эффективности? Кривая, которая является геометрическим местом искомых точек-решений, называется кривой затраты — эффективность.

На рис. 11.5 показаны две такие кривые. Для первой из них при уменьшении затрат (начиная с точки А) эффективность



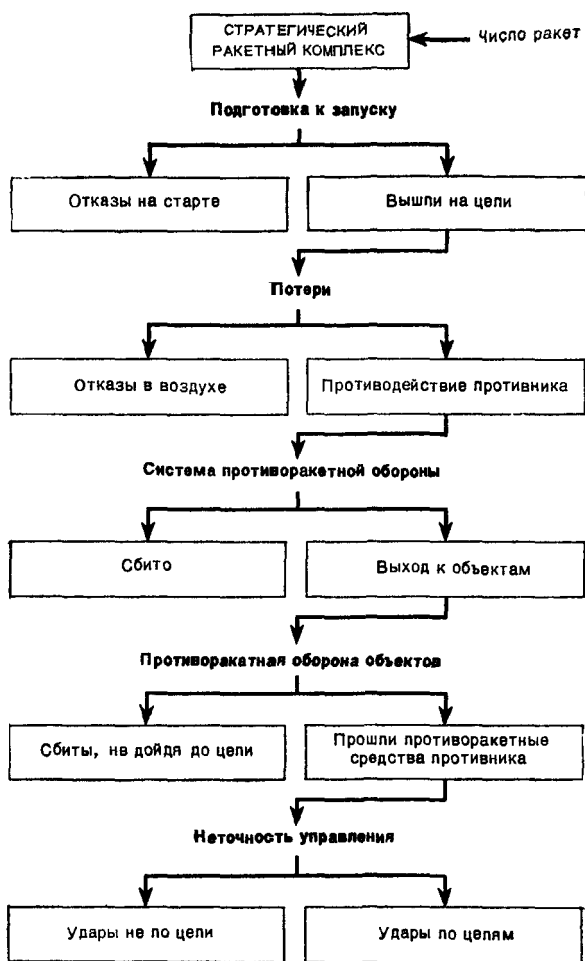


Рис. 11.7. Модель эффективности ударов стратегических ракет [21]. (Воспроизводится с разрешения.)

существенно снижаться не будет, в то время как для второй кривой при относительно небольших увеличениях затрат (начиная с точки *В*) повышение эффективности значительно. Эти две кривые затраты — эффективность относятся к двум различным вариантам системы. По форме кривых лицо, принимающее решение, может судить об относительной ценности вариантов, из которых приходится делать выбор.

На рис. 11.6 кривые затраты — эффективность для двух вариантов системы представлены на одном графике. Неопреде-

ленность возникает из-за наличия точки пересечения этих двух кривых. Для выработки дальнейших рекомендаций ЛПР необходима дополнительная информация относительно имеющегося бюджета и тех целей, которые требуется достичь.

Эффективность затрат для двух систем можно сравнивать, когда эти системы предназначены для достижения одних и тех же целей. Как читатель уже догадывается, выходы систем не всегда соизмеримы и не всегда можно их измерить в одинаковых единицах. Подход, который мы рассмотрим ниже при обсуждении многомерных моделей, может помочь выйти из такого положения.

Обычно эффективность является функцией многих переменных и многих подсистем и элементов систем. На рис. 11.7 представлена часть модели стратегического ракетного комплекса — модель эффективности ударов. Гросс считает [21], что

можно двигаться по этой схеме снизу-вверх или в противоположном направлении. Если мы рассматриваем модель в случае постоянной, или равной, эффективности и если мы задались целью свести затраты к минимуму, следует начинать с определения числа целей, подлежащих уничтожению. Затем будем продвигаться вверх по схеме для определения класса комплекса и числа ракет данного типа, которыми он должен быть оснащен. Одновременно будем делать прикидочную оценку затрат, которые потребуются для обеспечения комплекса необходимым числом ракет.

При движении сверху вниз мы располагаем фиксированным бюджетом, т. е. определенными денежными средствами. Определим число ракет для каждого возможного варианта комплекса; прикинем все возможные потери и закончим уточнением числа ракет, которые прорвутся к целям, и числа целей, которые будут уничтожены.

На рис. 11.8 приведен пример частичного расчета затрат с помощью модели. Нетрудно понять, что для определения затрат необходима «информация, касающаяся не только стоимости летательных аппаратов, содержания экипажа, числа его членов, летного пайка, инвентаря для спасения при посадке на воду... и т. д.» [22]. Компромиссы между конкурирующими подсистемами могут оказать влияние на форму кривой зависимости затраты — эффективность. Возможны два типа компромиссов. К первому относятся компромиссы, касающиеся так называемых замещаемых систем; этот термин взят из экономики и относится к таким случаям, когда одна система может быть заменена другой или когда сокращения в одной системе ведут к расширениям в другой. Второй тип включает компромиссы между дополнительными системами; в этом случае системы не заменяют, а дополняют одна другую и «существование одной делает другую более ценной». В этом случае изменение в соотношении, или конфигурации, подсистем может оказать неожиданное влияние на всю систему, а следовательно, и на форму кривой зависимости затраты — эффективность.

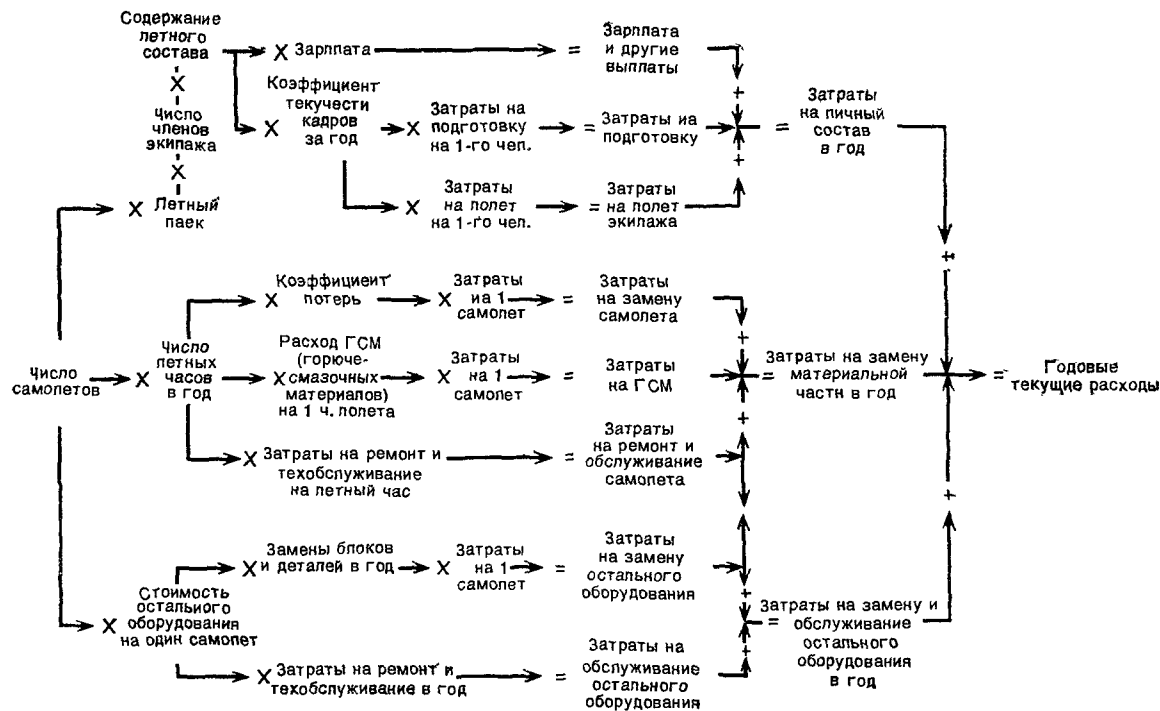


Рис. 11.8. Модель годовых текущих расходов [21]. (Воспроизводится с разрешения.)

*Субоптимизация* (гл. 13) возникает тогда, когда связанные решения не установлены на одном и том же уровне системы и когда решение на одном уровне «мешает принятию и выполнению решений» на более высоком уровне системы. По мере того как мы продвигаемся в направлении рассмотрения все более сложных взаимозависимых систем, мы оптимизируем в основном на более высоких уровнях, но почти всегда при этом по существу занимаемся «субоптимизацией», так как на этих высоких уровнях наших систем существуют такие компоненты, которые зачастую можно замещать другими.

За указаниями о том, как подготавливать оценки отношения затраты — эффективность, мы рекомендуем обратиться к статьям [23, 24] и к работе Гросса [25].

За последнее время новые методы, связанные с исследованием и планированием водных ресурсов, дополнили методы нахождения зависимостей затраты — эффективность в случае принятия многомерных решений, или решений при многих критериях. Ниже мы укажем литературу по этим вопросам.

### **Пример модели затраты — эффективность из области образования<sup>1)</sup>**

Предположим, что мы хотели бы сравнить эффективность двух программ обучения чтению — программ *X* и *Y*, которые испытываются в двух разных школах *A* и *B* соответственно. В шестых классах школы *A* имеется 89 учеников, 57 из которых — дети зажиточных жителей пригородов и 32 — дети родителей, живущих в городе. В школе *B* в шестых классах 56 учеников, 39 из них по происхождению из зажиточных семей пригородов и 17 — из городских семей.

Итак, в каждой школе имеется по две группы учеников. Для сравнения эффективности указанных выше программ в каждой школе дважды было проведено тестирование. Первый раз оно проводилось в начале осени до того, как начались занятия по указанным программам, а второй раз — по окончании таких занятий — весной следующего года. Полученные результаты приводятся ниже.

#### *Школа A, пользовавшаяся программой X*

Результаты осеннего теста:

Чтение 21% пригородных и 3,1% городских учеников удовлетворяет требованиям программы шестого класса.

Результаты весеннего теста:

<sup>1)</sup> Заимствовано из работы Sweigert R. L., Jr., A Benefit/Cost Model for Evaluation of Instruction (mimeographed), Sacramento, California State Department of Education, 1969. (Используется с разрешения.)

Чтение 68,4% пригородных и 37,5% городских учеников удовлетворяет требованиям программы шестого класса.

*Школа В, пользовавшаяся программой У*

Результаты осеннего теста:

Чтение 12,8% пригородных и 0% (ни одного ученика) городских учеников удовлетворяет требованиям программы шестого класса.

Результаты весеннего теста:

Чтение 84,6% пригородных и 47,0% городских учеников удовлетворяет требованиям программы шестого класса.

Затраты на обучение по программе Х с учетом затрат на учебные пособия и оборудование, пропорционально насчитываемой зарплаты учителям, хозяйственных и административных расходов и т. п. составляют 1000 долл. на 89 учеников школы А, а затраты на обучение по программе У на 56 учеников школы В равны 650 долл. Затраты на одного ученика в школах А и В получаются равными соответственно 11,24 и 11,61 долл. Этими данными можно воспользоваться для установления зависимостей затраты — эффективность для разных программ по школам и типам учеников. Для этого вычислим *индексы эффективности затрат I*:

$$I_{\text{(школа, программа, ученики)}} = \frac{\text{(Число учеников)} \left( \begin{array}{c} \text{Разность между результатами} \\ \text{до и после прохождения про-} \\ \text{граммы} \end{array} \right)}{\text{(Затраты на)} \left( \begin{array}{c} \text{Число} \\ \text{ученика} \end{array} \right) \text{(учеников)}},$$

$$I_{A, X, \text{пригородные}} = \frac{57(68,4 - 21,0)}{11,24 \cdot 57} = 4,05;$$

$$I_{A, X, \text{городские}} = \frac{32(37,5 - 3,1)}{11,24 \cdot 32} = 2,94;$$

$$I_{A, X \text{ пригородные и } \text{городские}} = \frac{57(47,4) + 32(34,4)}{640 + 360} = 3,65;$$

$$I_{B, Y, \text{пригородные}} = \frac{39(84,6 - 12,8)}{11,61 \cdot 39} = 5,93;$$

$$I_{B, Y, \text{городские}} = \frac{17(47 - 0)}{11,61 \cdot 17} = 3,89;$$

$$I_{B, Y \text{ пригородные и } \text{городские}} = \frac{39(71,8) + 17(47)}{453 + 197} = 5,32.$$

Индексы также можно подсчитать и для оценки затраты — эффективность обеих программ отдельно по пригородным и по городским ученикам:

$$I_{A \text{ и } B, X \text{ и } Y, \text{пригородные}} = \frac{57(47,4) + 39(71,8)}{640 + 453} = 4,8,$$

$$I_{A \text{ и } B, X \text{ и } Y, \text{городские}} = \frac{32(34,4) + 17(47)}{360 + 197} = 3,3.$$

Полученный индекс может быть интерпретирован как эффективность данной программы при достижении определенной цели, выраженная в единицах полезности, приходящейся на один затраченный доллар. Поэтому, чем выше индекс, тем лучше работа школы. Из рассмотрения расчетов можно сделать заключение о том, что программа *Y*, которой пользовалась школа *B*, приносит больше пользы ученикам на один затраченный доллар, чем программа *X* школы *A*.

Далее мы видим, что обе программы более эффективны применительно к детям зажиточных жителей пригорода. Однако преимущество программы *Y* сохраняется в отношении обеих групп учеников.

Основное достоинство рассмотренного метода анализа затрат — эффективность заключается в том, что он позволяет сравнивать совершенно различные программы, имеющие сильно различающиеся целевые установки. Мы не ограничены необходимостью сравнимости целей и сравнимости средств измерения достижения этих целей (например, проблемы сравнения результатов испытаний с использованием тестов SAT и STEP или сравнения числового выражения коэффициента умственного развития, определенного с помощью теста CTMM<sup>1)</sup>, с полученным по Лорж-Торндайку). При использовании данного метода у нас имеется совместимая единица измерения, пригодная для всех программ. Поправки на относительную важность целей можно ввести в модель с помощью весовых коэффициентов.

Нетрудно заметить, что индексы эффективности затрат, подсчитанные выше, обладают значительной гибкостью. Мы можем группировать цели по изучаемым курсам, или дисциплинам, по факультетам, уровню оценок, типу обучаемых, учебному заведению, району, штату или по любому признаку. Более того, такие индексы можно определять для заданных временных периодов с целью установления изменений по шкале времени.

Расчеты соотношений затраты — эффективность основываются на определенных допущениях, о которых следует всегда помнить. Так, предполагается, что образование организовано в виде отдельных курсов, проходимых в определенных учебных заведениях. В модели не учитываются взаимные влияния программ курсов, проблемы измерения, факторы, относящиеся к мотивам действий преподавателей и учащихся, их отношению к изучаемому предмету и их способностям. Несмотря на перечисленные допущения, описанная выше модель подсчетов позволяет

<sup>1)</sup> Упомянутые здесь аббревиатуры обозначают названия различных тестов для оценки интеллектуальных способностей, применяемых в учебных заведениях США. — *Прим. ред.*

получить количественное представление той области, распределение ресурсов в которой необходимо проанализировать на более надежной основе.

## II. Многоцелевые и многомерные модели

### Сравнение одно-и многоцелевых моделей планирования

Исследование водных ресурсов, в ходе которого возник аналитический метод прибыль — издержки, в настоящее время подлежит переоценке, что связано с созданием новых моделей, которые приходят на смену модели прибыль — издержки. Основной чертой новых моделей является их многомерность, что существенно отличает их от старых моделей, учитывающих только одну цель — обычно совокупность всех выгод в денежном выражении. В конце главы мы рассмотрим пример модели нового типа для многоцелевого планирования водных ресурсов. Как отмечено в работе [26], некоторые из методов решения, предлагаемых для задач многоцелевого планирования, не обеспечивают достаточно информации для сравнения несовместимых, или несравнимых, целей: «если нет информации о предпочтительности, оптимальное решение задачи найдено быть не может, так как все возможные решения не упорядочены [или не сравнимы]».

При условии, что дана кривая преобразования или функция производства, представляющая границу множества возможных решений, лицо, принимающее решение, должно задать информацию предпочтения в форме кривых индифферентности. Таким образом, только те точки, которые будут точками пересечения кривой преобразования и кривых индифферентности, будут точками решения, удовлетворяющими как границе возможного, так и предпочтениям общества. Иллюстрация этого подхода дается на примере изучения системы одной реки с тем, чтобы показать, как может быть оптимизирована «сложная стохастическая физическая система, входящая как составная часть в экономическое, социальное и духовное окружение» [27]. Все методы, которые будут описаны ниже, относятся к методам многомерного программирования, согласно которым решения становятся сравнимыми, а выбор не худших решений обеспечивается за счет того, что лицо, принимающее решение, задает некоторый набор суждений о ценности в форме информации о предпочтительности. Дальнейшее изложение мы построим в следующем порядке:

1. Аддитивные и мультипликативные многомерные функции полезности.

2. Общая процедура сравнения сложных многомерных вариантов.

3. Алгоритм Кли.

4. Система оценки окружающей среды.

5. Модель планирования водных ресурсов.

6. Другие модели и методы со многими критериями.

6. Модели типа вход-выход и модели системной динамики.

## 1. Аддитивные и мультипликативные многомерные функции полезности

Прежде чем приступить к рассмотрению многомерных функций полезности, напомним читателю, что понятие полезности было введено в гл. 7 в связи с мерами ценности. Там мы подчеркивали трудности количественного выражения функции полезности, если не наложены строгие аксиоматические условия [28].

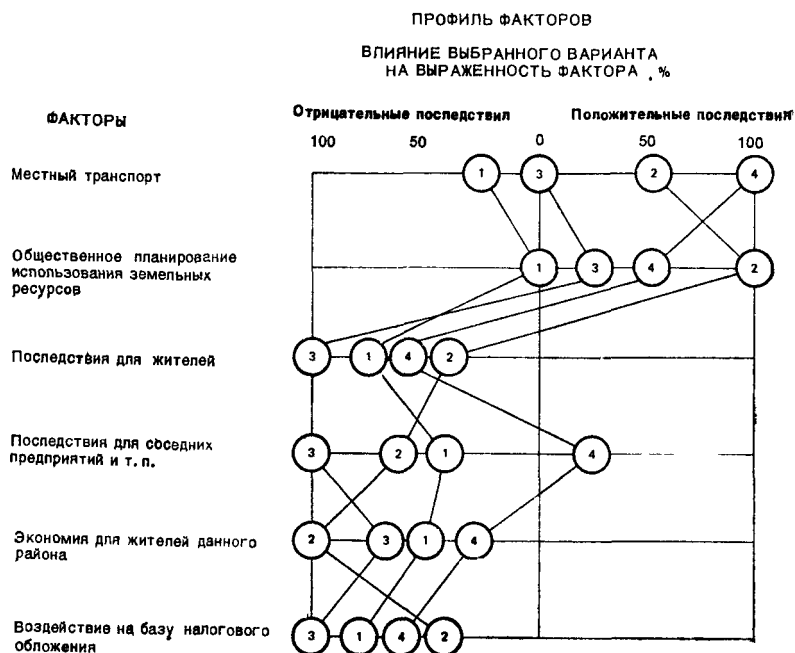


Рис. 11.9. Профиль факторов социального характера. Цифры в кружках означают номера вариантов. Заимствовано из работы Oglesby C. H., Bishop B., Willeke G. E., A Method for Decisions Among Freeway Location Alternatives Based on User and Community Consequences, Highway Research Record, 305, © 1970. (С разрешения Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D. C.)



Проблема оценивания многомерных вариантов подобна проблеме обобщения суждений для получения экспертной оценки (последней проблеме посвящена гл. 17). Эксперты требуются для выбора наилучших решений. Варианты необходимо научиться оценивать по своего рода системе баллов, используя аддитивные или мультипликативные функции нескольких переменных. Ни один из вариантов не может «доминировать» над остальными по всем переменным, а следовательно, если один вариант превосходит другой по некоторой переменной, для следующей переменной картина оказывается обратной. На рис. 11.9 показан типичный случай ранжирования четырех вариантов по шести переменным, или факторам (ситуация представлена в форме «профиля факторов»). На этом примере видно, что вариант 4 превосходит вариант 2 по первому фактору — переменной, но по второй переменной ситуация обратная. Вопрос заключается в том, как подсчитать «баллы», набранные каждым вариантом, по всем переменным с тем, чтобы установить, который из них наилучший. В таких случаях эксперты прибегают к двум основным типам моделей — аддитивным и мультипликативным моделям многомерной функции полезности. Ранжирование вариантов и последствий их реализации выполняется с помощью функций полезности, несущих необходимую для этого информацию. В основе таких моделей лежит предположение о том, что ЛПР «разумны» и стремятся к получению максимального значения ожидаемой полезности.

### Аддитивные многомерные модели полезности

Обобщенная форма аддитивной модели полезности представляется функцией  $U$ , где

$$U = \sum_{i=1}^N w_i f(x_i).$$

Функция  $f(x_i)$  может иметь вид либо

$$f(x_i) = (x_1, x_2, \dots, x_n),$$

где  $x_i$  — мера степени наличия свойства  $i$  в каждом варианте, либо

$$f(x_i) = (ux_1, ux_2, \dots, ux_n),$$

где  $ux_i$  — оценка полезности, приписываемая экспертом  $i$ -му свойству. Коэффициенты, или веса,  $w_i$  представляют относительную важность свойств и получаются различными методами, зависящими от конкретной используемой модели. Ниже мы рассмотрим несколько примеров.

## Мультипликативные многомерные модели полезности

Обобщенная форма мультипликативной функции полезности для модели представляется следующим образом:

$$U = \prod_{i=1}^N f(ux_i).$$

Как и в случае аддитивной функции полезности,  $ux_i$  есть функция полезности по каждому из свойств. Кини рассматривает вопрос о том, которую из двух функций полезности применять, пользуясь достаточными условиями, которые должны быть наложены в конкретном случае [29]. Согласно Кини, «число требуемых условий возрастает только линейно с ростом числа свойств, или параметров» [30]. Основные допущения относятся к понятиям «независимость предпочтения» и «независимость полезности». В работе [31] разработаны методы проверки этих допущений и приведены примеры применения полученных алгоритмов. Дальнейшее развитие эти идеи нашли в работах [32, 33].

Хьюбер сравнивает аддитивные и мультипликативные модели на самых различных практических задачах. Полученные им выводы свидетельствуют о сравнимости возможностей прогнозирования аддитивных и мультипликативных моделей [34]. Из-за неизбежных трудностей в выполнении условий применения мультипликативных моделей большинство исследователей прибегает к использованию аддитивных моделей. Часто эти модели применяют, не учитывая те условия, которые должны быть соблюдены для того, чтобы получить правильные результаты. Эти условия связаны со следующими двумя этапами:

1) этапом, на котором находят значения индивидуальных предпочтений по некоторой шкале; если измерения возможны, то по шкале отношений;

2) этапом, на котором показатели эффективности варианта (по выбранной мере) преобразуются в значения полезности.

Во многих исследовательских разработках вообще не упоминается об этих трудностях лишь на том основании, что условия, которые позволяют применять рассматриваемые здесь модели, выполняются автоматически.

## 2. Общая процедура сравнения сложных многомерных вариантов

Опишем обычную процедуру, с помощью которой возможно сравнивать сложные многомерные варианты. Эта процедура сочетает шаги различных алгоритмов, формализованных и описанных в научной литературе [35—38].

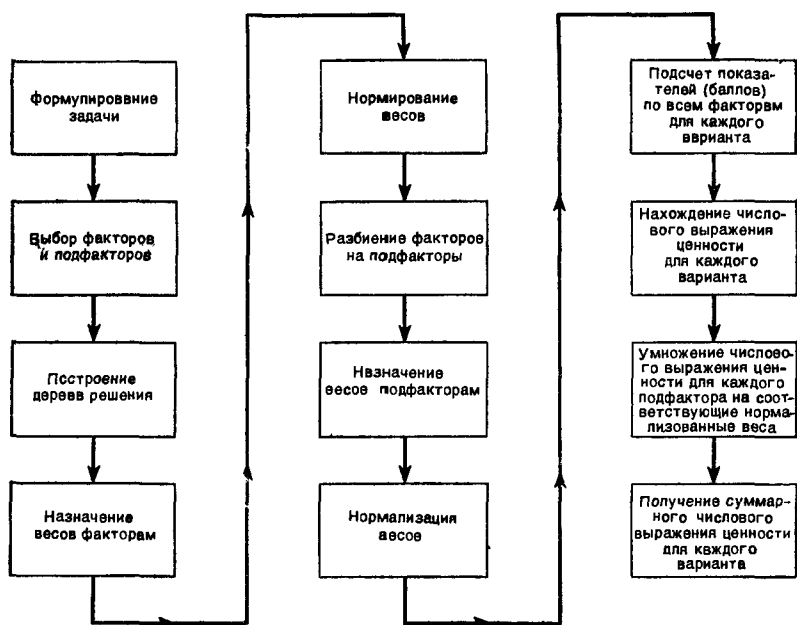


Рис. 11.10. Последовательность шагов общей процедуры сравнения сложных многомерных вариантов.

Последовательность шагов, которые должны быть выполнены, показана на рис. 11.10. Рассматриваемую процедуру разберем на примере оценки деятельности профессорско-преподавательского состава некоторого учебного заведения.

### *Шаг 1. Выбор и назначение факторов. Построение дерева решения*

В любой многомерной задаче первым шагом должно быть определение факторов, по которым будет производиться сравнение различных вариантов. Такие факторы, свойства или критерии должны быть представлены в виде дерева решения или «иерархии критериев» [39], показывающей взаимозависимости между факторами (табл. 11.3).

**Выбор факторов.** При оценке деятельности сотрудников, относящихся к профессорско-преподавательскому составу, можно выделить четыре основных фактора:

- 1) преподавательскую деятельность,
- 2) научную деятельность,
- 3) общественную деятельность и
- 4) психологическую совместимость как со студентами, так и с коллегами.

Таблица 11.3

**Дерево решения для процедуры оценки деятельности  
профессорско-преподавательского состава**

|                                     |                                                    |                                                                                                                                                               |
|-------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Преподаватель-<br>ская деятельность | По оценке студен-<br>тов                           | { Стандартные анкеты<br>Со слов студентов<br>Со слов незаинтересованных лиц                                                                                   |
|                                     | По оценке коллег                                   | { Со слов руководителя кафед-<br>ры<br>Со слов других сотрудников<br>факультета                                                                               |
| Научная деятель-<br>ность           | Исследовательская<br>работа и консуль-<br>тации    | { Авторитетность организации,<br>субсидирующей работу<br>Размер субсидий<br>Продолжительность работы<br>по контракту<br>Число людей, привлеченных к<br>работе |
|                                     | Публикации                                         | { Научный вес журнала<br>Число ссылок на работу                                                                                                               |
|                                     | Деятельность в на-<br>учных организациях           | { Доклады на конференциях<br>Другие доклады<br>Посты, занимаемые в научных<br>организациях<br>Участие в организации симпо-<br>зиумов, конференций             |
| Общественная дея-<br>тельность      | Работа на факульте                                 | { Объем методической работы<br>Разработка программ и вне-<br>сение новшеств                                                                                   |
|                                     | Деятельность на об-<br>щеуниверситетском<br>уровне | { Работа в университетских со-<br>ветах<br>Успешность разработки про-<br>грамм                                                                                |
|                                     | Работа в общест-<br>венных организа-<br>циях       | { Деятельность, направленная<br>на достижение целей обучения<br>Прочая общественная дея-<br>тельность                                                         |
| Психологическая<br>совместимость    | { Со студентами<br>С коллегами                     |                                                                                                                                                               |

**Выделение подфакторов.** Каждый из указанных факторов должен быть разбит на подфакторы, или компоненты, благодаря чему его можно оценить и в итоге измерить. Таким образом, отмеченные четыре фактора (табл. 11.3) разбиты на подфакторы. Запишем их по уровням разбиения.

### 1. Преподавательская деятельность

1.1. По оценке студентов, которая может быть получена посредством стандартных анкет; со слов студентов; со слов незаинтересованных лиц.

1.2. По оценке коллег, получаемой как от руководителя кафедры, так и от других сотрудников.

## 2. Научная деятельность

2.1. Исследовательская работа и консультации, оцениваемые по авторитетности организации, субсидирующей работу; размеру субсидий; продолжительности работы по контракту; числу людей, привлеченных к работе.

2.2. Публикации [40], о которых можно судить по научному весу журнала, печатающего данную работу; числу ссылок на работу.

2.3. Деятельность в научных организациях, показателями которой являются доклады на конференциях; доклады, представленные на других форумах научной общественности; занимаемые должности; участие в организации симпозиумов, конференций.

## 3. Общественная деятельность

3.1. Работа на факультете, оцениваемая по объему методической работы; разработке программ и внесению новшеств.

3.2. Деятельность на общеуниверситетском уровне, о которой судят по работе в университетских советах; успешности разработки университетских программ; по проявляемому здравомыслию и пониманию.

3.3. Работа в общественных организациях включает деятельность, направленную на достижение целей обучения в колледже, университете и др.

## 4. Психологическая совместимость со студентами и коллегами.

### Шаг 2. Назначение весов факторам и подфакторам

Лиц, принимающих решение (в нашем примере коллег и студентов), просят назначить относительные веса каждому из четырех главных факторов. Для этого им может быть задан такой вопрос:

Для данного дерева решения, которое устанавливает зависимость между факторами, выбранными для оценивания сотрудников некоторой кафедры, какой вес вы бы приписали каждому из четырех главных факторов? Сумма относительных весов должна равняться единице.

| Факторы                                                    | Пример назначаемых весов |
|------------------------------------------------------------|--------------------------|
| 1. Преподавательская деятельность                          | 0,40                     |
| 2. Научная деятельность                                    | 0,30                     |
| 3. Общественная деятельность                               | 0,15                     |
| 4. Психологическая совместимость со студентами и коллегами | 0,15                     |

Далее ЛПР, или «судей», просят назначить веса подфакторам, на которые поделен каждый главный фактор. Вопрос можно сформулировать следующим образом:

Дано разбиение каждого из факторов на подфакторы. Какой вес вы припишете каждому из подфакторов? Сумма весов подфакторов, относящихся к одному фактору, должна равняться единице.

| Подфакторы                                   | Пример назначаемых весов |
|----------------------------------------------|--------------------------|
| 1. <i>Преподавательская деятельность</i>     |                          |
| 1.1. По оценке студентов                     | 0,50                     |
| 1.2. По оценке коллег                        | <u>0,50</u>              |
|                                              | 1,00                     |
| 1.1. <i>Оценка студентами</i>                |                          |
| Стандартные анкеты                           | 0,50                     |
| Со слов студентов                            | 0,25                     |
| Со слов незаинтересованных лиц               | <u>0,25</u>              |
|                                              | 1,00                     |
| 1.2. <i>Оценка коллегами</i>                 |                          |
| Руководитель                                 | 0,30                     |
| Другие сотрудники                            | <u>0,70</u>              |
|                                              | 1,00                     |
| 2. <i>Научная деятельность</i>               |                          |
| 2.1. Исследовательская работа и консультации | 0,25                     |
| 2.2. Публикации                              | 0,50                     |
| 2.3. Деятельность в научных организациях     | <u>0,25</u>              |
|                                              | 1,00                     |
| 2.2. <i>Публикации</i>                       |                          |
| Научный вес журнала                          | 0,90                     |
| Число ссылок                                 | <u>0,10</u>              |
|                                              | 1,00                     |
| и т. д.                                      |                          |

### Шаг 3. Нормализация весов

Весы факторов и подфакторов необходимо нормализовать. Этот шаг заключается в перемножении весов, полученных для каждого отдельного фактора, и весов относящихся к нему подфакторов. Результатом перемножения является итоговый вес для каждого данного подфактора (табл. 11.4).

### Шаг 4А. Подсчет баллов по вариантам

В разбираемом нами примере мы оцениваем деятельность профессорско-преподавательского состава университета за год. В этом случае оценки должны отражать показатели каждого

Таблица 11.4

## Нормализация весов подфакторов

| Факторы и подфакторы              | Вес фактора | Вес подфакторов | Нормализованные веса подфакторов    |
|-----------------------------------|-------------|-----------------|-------------------------------------|
| 1. Преподавательская деятельность | 0,4         |                 |                                     |
| 1.1. По оценке студентов          |             | 0,50            | $0,40 \cdot 0,50 = 0,20$            |
| Стандартные анкеты                |             | 0,50            | $0,40 \cdot 0,50 \cdot 0,50 = 0,1$  |
| Со слов студентов                 |             | 0,25            | $0,40 \cdot 0,50 \cdot 0,25 = 0,05$ |
| Со слов незаинтересованных лиц    |             | 0,25            | $0,40 \cdot 0,50 \cdot 0,25 = 0,05$ |
|                                   |             | <u>1,00</u>     | <u>0,20</u>                         |
| 1.2. По оценке коллег             |             | 0,50            | $0,40 \cdot 0,50 = 0,20$            |
| Руководитель                      |             | 0,30            | $0,40 \cdot 0,50 \cdot 0,30 = 0,06$ |
| Остальные сотрудники              |             | 0,70            | $0,40 \cdot 0,50 \cdot 0,70 = 0,14$ |
|                                   |             | <u>1,00</u>     | <u>0,20</u>                         |

Эта процедура может быть продолжена для получения нормализованных весов всех остальных подфакторов. Сумма нормализованных весов всех факторов (и подфакторов) должна быть равна 1,00.

отдельного преподавателя по всем факторам, или свойствам, выбранным для оценивания. Подсчет баллов может быть выполнен приписыванием некоторого числа каждому свойству по произвольной шкале или переводом фактического значения числа баллов в ценностное выражение.

Использование произвольной шкалы можно проиллюстрировать так: выберем шкалу от 1 до 9 или от 1 до 5 и попросим «судей» проставить свои субъективные оценки, исходя из того, что 1 есть низшая оценка, а 9 и 5 соответственно высшие значения в наших шкалах. Подсчет результатов по оценочным анкетам студентов иногда выполняется непосредственно по нормированному отклонению от среднего значения, что дает естественный результат в баллах от 1 до 9. В других случаях, например для оценки по числу публикаций или по числу ссылок на работы каждого из преподавателей, можно непосредственно использовать эти числа в качестве оценочных баллов. (О неблагоприятных последствиях использования количественных числительных для оценки будет сказано ниже.)

## Шаг 4Б. Дополнение

Миллер вводит понятие относительной эффективности функции ценности, которое для каждого фактора или свойства представляет отношение между оценочными баллами и эффективно-

стью, или рабочими показателями. Функции, получающиеся таким образом, могут быть линейными, нелинейными, выпуклыми или вогнутыми, непрерывными или ступенчатыми, с положительным или отрицательным наклоном в зависимости от выбранной меры эффективности [41]. Такие функции полезности

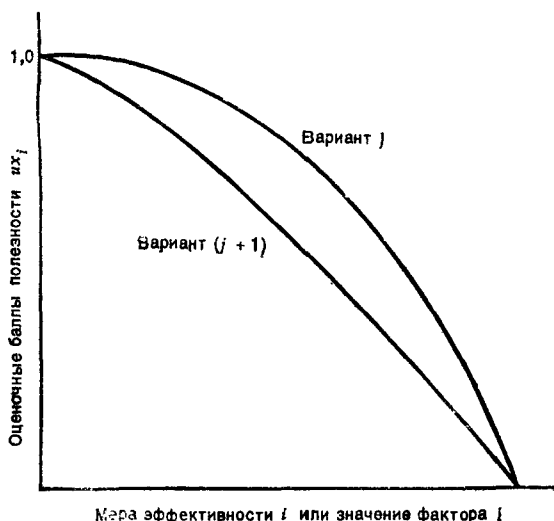


Рис. 11.11. Значения функции полезности в зависимости от меры эффективности  $i$  для вариантов  $j$  и  $(j + 1)$ .

имеют то преимущество, что с их помощью несравнимые результаты относительного ранжирования преобразуются в безразмерные оценки, которые можно затем преобразовать таким образом, чтобы получить взвешенные оценки, или баллы. На рис. 11.11 показана функция полезности такого типа.

### Шаг 5. Получение взвешенных оценок

Получение взвешенных баллов заключается в умножении количества баллов для всех параметров (подфакторов) на соответствующие нормализованные веса (табл. 11.5).

### Шаг 6. Сравнение вариантов

Сравнение взвешенных баллов, приписанных различным вариантам, делает возможным ранжирование последних. Нельзя придавать никакого количественного значения конкретным оценочным баллам. И это не удивительно, если принять во внимание, что веса проистекают из субъективных суждений, не связанных ни с какими шкалами. Более того, полезность, оцененная



Таблица 11.5

## Получение взвешенных оценочных баллов

| Факторы и подфакторы                                         | Примеры<br>баллов по<br>шкале 1—9 | Нормализо-<br>ванные веса | Взвешенные<br>баллы |
|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|---------------------|
| 1. Преподавательская деятельность                            |                                   |                           |                     |
| 1.1 По оценке студентов                                      |                                   |                           |                     |
| Стандартные анкеты                                           | 6                                 | 0,10                      | 0,60                |
| Со слов студентов                                            | 9                                 | 0,05                      | 0,45                |
| Со слов незаинтересованных лиц                               | 5                                 | 0,05                      | 0,25                |
|                                                              |                                   |                           | <u>1,30</u>         |
| 1.2 По оценке коллег                                         |                                   |                           |                     |
| Руководитель                                                 | 8                                 | 0,06                      | 0,48                |
| Остальные сотрудники                                         | 6                                 | 0,14                      | 0,84                |
|                                                              |                                   |                           | <u>1,32</u>         |
| Суммарные взвешенные баллы за преподавательскую деятельность |                                   |                           | 2,62                |
| Добавить взвешенные баллы за научную деятельность            |                                   |                           | —                   |
| Добавить взвешенные баллы за общественную деятельность       |                                   |                           | —                   |
| Добавить взвешенные баллы за психологическую совместимость   |                                   |                           | —                   |
| Суммарные взвешенные баллы преподавателя X                   |                                   |                           | —                   |

в баллах, не допускает сравнений на промежуточных этапах подсчета; сравнение по этому методу разрешается только после окончательного ранжирования и только в том случае, если соблюдены некоторые предупредительные меры относительно допустимых операций над упорядоченными данными.

**Заключение.** Рассмотренный выше метод частично был использован на практике для оценки работы преподавателей на предмет их назначения и утверждения в должности; для задержки продвижения, для определения срока пребывания в должности; для повышения по службе, а иногда для принятия решения сразу по нескольким указанным пунктам; проводилось это в одном из колледжей. В этом случае веса были введены только для главных факторов, которые не были разбиты на подфакторы,

По просьбе системных аналитиков, проводивших этот эксперимент, все преподаватели согласно модифицированному варианту дельфийского метода определили весовую функцию предпочтения в два этапа. Таким образом, для взвешивания индивидуальных баллов использовался один набор весов, выражающий агрегированную функцию предпочтения преподавателей.

| Факторы                           | Пример агрегированной функции предпочтения |
|-----------------------------------|--------------------------------------------|
| 1. Преподавательская деятельность | 0,50                                       |
| 2. Научная деятельность           | 0,25                                       |
| 3. Общественная деятельность      | 0,25                                       |
|                                   | <u>1,00</u>                                |

Описанная выше процедура имеет как определенные положительные стороны, так и недостатки. Оценка преподавателей представляет собой отличный пример многомерной задачи на принятие решения. Прежде многие характеристики преподавателей считались трудно поддающимися численному оцениванию. Процедура, подобная описанной выше, или ее вариант позволяет построить процесс принятия решения, с помощью которого выносятся такие серьезные решения, как определение срока пребывания в должности и продвижение по службе. Однако этими приемами следует пользоваться с чрезвычайной осторожностью. Как ни парадоксально, но среди преподавателей именно те, кто наименее знаком с численными методами подобного рода, являются особенно яркими их приверженцами, как будто эти методы обладают некой магической силой выдавать точные числовые представления качеств данного преподавателя без необходимости обращения к каким-либо другим критериям оценки. А в результате получающиеся взвешенные баллы неправильно приписываются как количественные показатели характеристик преподавателей и навешиваются на них как ярлыки. Ошибочность такого подхода очевидна.

## Многомерное шкалирование

Приписывание весов требует от каждого лица, принимающего решение, чтобы «пространство» из 100 относительных единиц, или процентов, которое по предположению существует для каждой категории факторов, было бы разделено соответственно «весу» каждого подфактора. Такое разделение пространства применительно к порядковым мерам называется *неметрическим шкалированием*. Было предложено много методов решения этой

проблемы. Первый метод, изложение которого приводится ниже, относится к анализу размерностей, а второй, предложенный Чёрчменом и Акоффом, обеспечивает то, что значения, присваиваемые подфакторам, удовлетворяют требованию их согласованности (непротиворечивости).

### Метод анализа размерностей

Метод, который мы рассмотрим, может быть использован в простых случаях, когда имеется несколько параметров (факторов), которым могут быть приписаны значения, или веса, для каждого имеющегося варианта. Метод был впервые предложен Бриджменом в двадцатых годах нашего столетия [43], но и сейчас не утратил своего значения. Недавно Эпштейн посвятил ему свою работу [44]. Метод состоит в нахождении отношений между параметрами, возведении этих отношений в степень, которая является значением веса, приписанного данному параметру относительно всех остальных. Приведем простой пример.

Предположим, нам надо сравнить два конкурирующих проекта, имеющих в качестве параметров вес, стоимость, объем, фактор безопасности и удобство. Каждый из этих параметров измеряется по разным шкалам, т. е. они «несравнимы». Вес задается в килограммах, стоимость в долларах, объем в кубических сантиметрах, а фактор безопасности и удобства задаются значениями выбранной порядковой шкалы. Вариант ситуации может быть таким:

| Номер проекта | Вес, кг | Стоимость, долл. | Объем, см <sup>3</sup> | Безопасность, отн. ед. | Удобство, отн. ед. |
|---------------|---------|------------------|------------------------|------------------------|--------------------|
| 1             | 10      | 200              | 20                     | 1                      | 2                  |
| 2             | 20      | 100              | 10                     | 2                      | 1                  |

Если у нас нет никакой дополнительной информации и если для получения безразмерного отношения мы используем значения приведенных выше параметров, то мы выберем проект 2 (предпочтение отдается знаменателю):

$$\text{Безразмерное отношение параметров} = \frac{10}{20} \frac{200}{100} \frac{20}{10} \frac{1}{2} \frac{2}{1} = \frac{2}{1}.$$

Если были заданы веса, указывающие относительную важность имеющихся параметров, отношение было бы иным. Предположим, что мы вводим относительные веса таким образом: 1:1:1:2:1, т. е. фактор безопасности вдвое более важ-

ный, чем удобство, а остальные параметры равноценны по важности. В этом случае отношение получится таким:

$$\text{Взвешенное отношение} = \left(\frac{10}{20}\right)^1 \left(\frac{200}{100}\right)^1 \left(\frac{20}{10}\right)^1 \left(\frac{1}{2}\right)^2 \left(\frac{2}{1}\right)^1 = 1.$$

За счет введения весов отношение стало равным 1, а значит, оба варианта стали равноценными в смысле ранжирования, что приводит к неопределенности. Читатель без труда убедится в том, что веса вида 2 : 1 . 2 : 4 : 2 сделают проект 1 более привлекательным, чем проект 2. Этот метод, конечно, зависит от правильного назначения весов, что, вообще говоря, затруднительно. Методологическая сторона проблемы назначения весов будет рассмотрена ниже.

### Приблизительная мера ценности по Чёрчмену и Акоффу

Если нам предстоит ранжировать, или упорядочить, несколько параметров и получить некоторую порядковую меру, то проверка на непротиворечивость заключается в проверке, не нарушены ли следующие обязательные положения, касающиеся предпочтений при ранжировании лицом, принимающим решение, как в нижеприведенном примере.

1. Имеются четыре варианта некоторого выходного результата  $O_1$ ,  $O_2$ ,  $O_3$  и  $O_4$ , которым приписаны числовые значения предпочтительности, например 1,00; 0,60; 0,20 и 0,1.

2. Тогда, если  $O_1$  предпочтительнее всех остальных, то оно должно быть больше, чем  $O_2 + O_3 + O_4$ .

Если  $O_2$  предпочтительнее, чем  $O_3$  и  $O_4$ , то  $O_2$  должно быть больше, чем  $O_3 + O_4$ , и, наконец, если  $O_3$  предпочтительнее  $O_4$ , то  $O_3$  должно быть больше  $O_4$ .

Читатель может проверить, что числовые значения предпочтения, приведенные в примере для каждого из выходов, удовлетворяют требованию непротиворечивости. Очевидно, что многие наборы чисел удовлетворяют этому условию. И это не удивительно, поскольку мы имеем дело всего лишь с мерами упорядочения [45, 46].

### Численное представление отношений ранжирования <sup>1)</sup>

Кендэл предлагает метод упорядочения по некоторой шкале, основанный на определении значений «разностей между объектами» и ранжировании этих разностей. Назовем «первыми

<sup>1)</sup> Пример взят из работы Kendall M. G., *Ranks and Measures*, *Biometrika*, 49, 133—137, © 1962. (С разрешения автора и Biometrika Trustees, London, England)

разностями» разности между значениями соответствующих параметров наших объектов; «вторыми разностями» — разности между «первыми разностями»; «третьими разностями» — разности между «вторыми разностями» и т. д. Кендэл формулирует, а затем доказывает утверждение о том, что можно получить приблизительные значения параметров, зная значения разностей и принцип их ранжирования. Проиллюстрируем справедливость этого утверждения на следующем примере:

1. Предположим, что имеются четыре числа, являющиеся значениями некоторого параметра четырех субъектов, т. е. числа 1, 3, 7 и 12, как показано в столбце 1 табл. 11.6.

Таблица 11.6

Использование разностей для определения значения параметров по некоторой шкале

| Значения параметра субъектов | «Первые разности» | Ранжирование «первых разностей» | «Вторые разности» | Ранжирование «вторых разностей» |
|------------------------------|-------------------|---------------------------------|-------------------|---------------------------------|
| 1                            | 2                 | 3                               | 4                 | 5                               |
| 1                            |                   |                                 |                   |                                 |
| 3                            | 2                 | 1-е                             |                   |                                 |
| 7                            | 4                 | 2-е                             | 2                 | 2-е                             |
| 12                           | 5                 | 3-е                             | 1                 | 1-е                             |

Заимствовано из работы [47]. (С разрешения автора и Biometrika Trustees, London.)

«Первые разности» и их ранжирование указаны в столбцах 2 и 3 соответственно, а значения вторых разностей и их распределение — в столбцах 4 и 5.

2. Начнем со «вторых разностей», значения которых равны 2 и 1. Их сумма равна 3, а среднее значение  $3/2$ . Кендэл полагает, что «полная длина» трех разностей, которые предшествуют вторым со значениями 2 и 1, задается выражениями:  $3/2$ ,  $3/2 + 2$  и  $3/2 + 2 + 1$ , где первый член каждого выражения — это среднее значение «вторых разностей», а следующие члены — это соответствующие «вторые разности». «Первые разности» оказываются пропорциональными  $3/2$ ,  $7/2$  и  $9/2$ , или 3, 7 и 9.

3. Если считать, что применение метода успешно, то эти числа должны быть пропорциональны разностям между четырьмя исходными значениями параметров. Полное расстояние между приведенными в конце п. 2 числами равно 19, а для

первого столбца такое расстояние равно 11. Поэтому мы можем нормализовать наши три числа дробью  $^{11}/_{19}$  и тогда получим числа 1,7; 4 и 5,2.

Это реконструированные «первые разности».

4. Начав с 1 и производя указанные выше действия, имеем 1;  $1 + 1,7$ ;  $1 + 1,7 + 4$ ;  $1 + 1,7 + 4 + 5,2$  или 1; 2,7; 6,7; 11,9,

что является аппроксимацией исходных значений параметров 1; 3; 7 и 12.

Таким образом, разности могут быть использованы для назначения коэффициента шкалирования (или упорядочения) значениям параметров. Кендэл указывает, что

на практике, конечно, едва ли бывает возможно ранжировать разности выше, чем вторые; в психологических экспериментах такая попытка потребует слишком больших усилий воображения. Однако это не снижает практической пользы описываемого метода. Даже если удастся ранжировать только первые разности, некоторые оценки исходных величин получить возможно [47].

Мы проиллюстрировали описываемый метод на одном небольшом примере. Рекомендуем читателю самостоятельно проверить его на ряде других примеров.

Кендэл предупреждает об опасностях, кроющихся в понимании результатов ранжирования, т. е. рангов как различных величин, иными словами, об опасности выполнения над значениями рангов операций как над значениями тех переменных, которые упорядочивались путем присваивания рангов. Над рангами такие операции не допускаются [48]. Необходимо помнить об обманчивости числовых выражений рангов и не попадаться в западни из весов, очков, рангов и их сочетаний [49].

## Анализ предпочтений, близостей и подобий

Недавние исследования в области психологии способствовали возникновению интересных методов, в том числе таких, с помощью которых можно анализировать сложные варианты с большим числом параметров. Шепард и Крускал использовали метод «оценок подобия» (метод парных сравнений) для получения мер предпочтения, с помощью которых ЛПР делают выбор из нескольких вариантов. Метод заключается в том, что каждому ЛПР — эксперту предъявляются все варианты попарно для того, чтобы получить относительные оценки по их подобию или отличию. Если имеется  $n$  стимулов, или параметров, то получают числовые выражения оценок для  $n(n-1)/2$  возможных пар от каждого «судьи». Эти числовые выражения представляют близость психологического соотнесения стимулов, соответствующих каждому варианту. Чем меньше различие, тем

выше предпочтение данного «судьи». Таким образом, подобия оказываются соотнесенными с близостью и предпочтениями [50—53].

Авторы работы [54] разработали методологию оценивания весов для многих параметров в сложных составных критериях, использующую парные оценки «судей». Входами в процедуру оценивания являются: а) множество объектов, имеющих несколько характеристик, при этом каждая характеристика определена в качестве *профиля подкритерия* (множества значений параметров) и б) множество оценок доминирования (например, предпочтения) при парном сравнении, выполненном одним «судьей», или экспертом, исходя из некоторого глобального критерия. Разработан показатель «пригодности», который может быть оптимизирован с помощью метода линейного программирования. Показано, что эта процедура обладает высокой достоверностью прогнозирования, когда применяется «к разработке сложных критериев успеха в области административно-управленческой деятельности, выполняемой путем анализа оценок доминирования, предлагаемых „судьями“-экспертами, при сравнении пар профилей управления» [54].

Была разработана машинная программа, которая выполняет многомерное ранжирование, или оценивание, по заданной шкале путем построения «конфигурации точек в пространстве по информации о расстояниях между этими точками... Имеется два типа точек.. «субъектные» и «стимульные», и используемая информация содержит результаты измерения расстояний только от одной субъектной точки до различных стимульных точек». «Расстояния» между точками относятся к «близости», или «мере подобия», которые выявляют предпочтения «судей» при сравнении каждой пары вариантов [55].

Эти же методы могут быть использованы для агрегирования, как это будет показано в гл. 17 при рассмотрении методов численной таксономии.

Клар воспользовался указанной машинной программой и данными по подобию для изучения «структуры познания» группы «судей» и для объяснения их предпочтений. Он постулировал существование некоторого «идеального многомерного объекта» для каждого «судьи», с которым последний сравнивает все остальные объекты. Различные характеристики такого идеального объекта являются комбинациями параметров, которые данный «судья» считает идеальными. Когда задан такой идеальный объект, предпочтение по отношению к конкретному варианту измеряется по сходству (подобию) с этим идеалом. Клар утверждает, что он получил «отображение пространства субъективных решений некоторого числа экспертов.. которое обеспечивает точные предсказания предпочтений» [56].

Подробный обзор методов оценивания по условным шкалам применительно к исследованию рынка можно найти в работах [57, 58].

### Веса и численное представление оценочных суждений

Когда ЛПР присваивает веса критериям, его оценки должны удовлетворять приводимым ниже требованиям.

1. Оценки не должны нарушать постулатов непротиворечивости.

2. Оценки должны согласовываться с оценочными суждениями лица, принимающего решение.

3. Оценки должны соответствовать реальности [59—61].

4. Должна быть достигнута некоторая мера согласия или единодушия между разными ЛПР [62—64].

Уинклер выделяет следующие категории лиц, производящих оценивание: *консультант* — лицо, действия которого удовлетворяют первому условию; *консультант высокой квалификации* — его оценки соответствуют первым двум требованиям; *эксперт* — оценки удовлетворяют первым трем требованиям.

Проблемы достижения согласия и определение понятия «экспертиза» будут обсуждены в гл. 16 и 17, а пока лишь укажем на то, что первое требование может быть удовлетворено, если следовать аксиомам рациональности и непротиворечивости. Тот, кто принимает решение, должен понимать, как он получает свои оценки и какого способа рассуждения придерживается, если, кроме того, его «функция полезности линейна по отношению к капиталу в некотором соответствующем диапазоне и он выбирает свои ответные действия так, чтобы максимизировать ожидаемую выгоду, то методы, которыми он пользуется для получения своих оценок, соответствуют его оценочным суждениям» [65].

Оценки могут отличаться от оценочных суждений. Первые можно рассматривать как строящиеся на основе некоторой модели, или на «составном оценивании», исходя из которого формулируется решение с помощью агрегирования рассматриваемых факторов и их весов. Оценочные суждения подобны «глобальным оценкам», с помощью которых ЛПР может избежать необходимости обращаться к модели. Тест, который позволяет определить, согласуются ли оценки с оценочными суждениями, заключается в проверке адекватности оценок, полученных с помощью модели (или из составных, сложных, оценок), оценкам, полученным с использованием глобальных оценок, и в установлении того факта, что и те, и другие приводят к одному и тому же решению. Способность «судей» выполнять взвешивание последовательностей объектов в соответствии с собственным



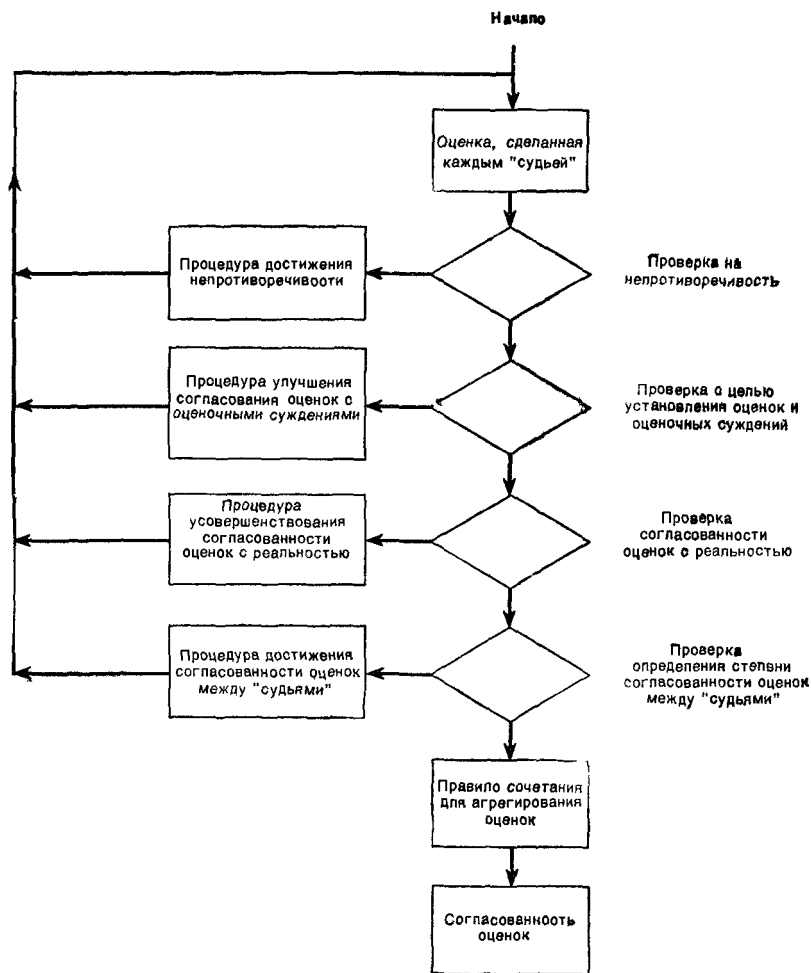


Рис. 11.12. Блок-схема проверки числовых оценочных суждений и достижения согласованности. Заимствовано из Winkler R. L., *The Quantification of Judgment: Some Experimental Results*, Proceedings of the American Statistical Association, 1967, pp. 386—395. (Используется с разрешения.)

мнением, касающимся их важности, исследовалась в работе [66].

Некоторые консультанты имеют больший успех, чем другие. Вполне логично поэтому сравнить консультантов по степени успешности работы и по неудачам и дать им возможность воспользоваться полученными данными, чтобы повысить их мастерство. Нам бы хотелось знать, чувствует ли каждый кон-

сультант или «судья» удовлетворение, когда его окончательная оценка вариантов совпадает с его собственным представлением о реальности. Последнее из указанных выше требований связано с объединением всех индивидуальных оценок в некоторое единое распределение, которое представляет единодушное мнение всех «судей». На рис. 11.12 показана блок-схема проверки числовых оценочных суждений и достижения в конечном итоге согласованности оценок. Аналогичная схема содержится в работе [67].

Пикхардт и Уоллес изучали «действие уровня информации» на субъективную вероятность оценивания консультантов. Они полагают, что «как вариации в задачах по обработке информации, так и вариации в уровне информации являются факторами, влияющими на эффективность оценивания» [68]. Сайеки и Веспер [69] изучили значение непротиворечивости при определении «судьями» важности вариантов и вынесении оценочных суждений относительно полезности, когда задана сложная иерархия целей и подцелей. Кини описал определенные условия, при которых индивидуальные предпочтения могут быть агрегированы в функцию предпочтения группы. Если имеется группа, состоящая из  $N$  лиц, каждое из которых ранжировало все имеющиеся варианты, используя функцию полезности, выраженную количественными числительными, то можно сформулировать правило агрегирования, сохраняющее индивидуальные предпочтения. Это правило требует выполнения сравнения предпочтений разных судей, а также соблюдения тех пяти допущений, относящихся к индивидуальному ранжированию, о которых речь шла выше [70].

### 3. Пример применения алгоритма Кли<sup>1)</sup>

Кли применил на практике линейную аддитивную модель многомерной функции полезности, разработав процедуру, которую не так уж сложно использовать; кроме того, эта процедура позволяет обойти некоторые из вышеуказанных методологических трудностей. Модель имеет вид:

$$U_j = \sum_{i=1}^N w_i f_i(ux_i),$$

где  $U_j$  — функция полезности для варианта  $j$  при  $j = 1, 2, 3, \dots, M$ ;  $w_i$  — вес фактора  $i$  при  $i = 1, 2, 3, \dots, N$ ,  $f_i(ux_i)$  — оценка полезности для варианта  $j$  по параметру  $i$ .

<sup>1)</sup> Я признателен д-ру А. Дж. Кли за разрешение проиллюстрировать этот алгоритм. См. [71].

Кли применил этот алгоритм в некоторых областях, имеющих отношение к окружающей среде [71]. Мы проиллюстрируем алгоритм Кли на примере выбора места для парка в бассейне реки. Как и в предыдущем примере, прежде всего определим иерархию критериев, которые в данном случае состоят из трех главных факторов и соответствующих подфакторов:

Инженерно-технические соображения [72]

Уровень поверхности воды

Мощность водосборного пласта

Использование в качестве места отдыха

Доступность

Расстояние от железной дороги

Влияние на соседние территории

Число владельцев участков

Влияние на сельское хозяйство

### Шаг 1. Вывод весов факторов

Такой вывод может быть выполнен парным сравнением параметров, что даст возможность получить оценки их относительной важности. Сравнение может быть проведено с использованием  $(n \times n)$ -матрицы, в которой 1 или 0 ставятся в строке  $i$  и столбце  $j$ , в зависимости от предпочтительности фактора  $i$  по сравнению с фактором  $j$ . Полное «число баллов», полученное таким образом, есть сумма ячеек с нулями или единицами для каждой строки. Полная сумма всех единиц и нулей может быть использована для нормализации результатов по каждой строке с тем, чтобы их сумма была бы равна 1, т. е.  $\sum w_{ij} = 1,0$ .

Другой метод получения весов факторов, принадлежащий Кли, состоит в назначении отношений важности и определении множителей (табл. 11.7). Начинаем сверху: отношение  $r =$

Таблица 11.7

Назначение отношений и определение множителей

| Параметр, или фактор          | Отношение<br>$r_i$ | Множитель<br>$k_i$ | Нормализованный вес<br>$w_i$ |
|-------------------------------|--------------------|--------------------|------------------------------|
| Уровень поверхности воды      | 2,3                | 6,4                | 0,34                         |
| Мощность водосборного пласта  | 0,5                | 2,8                | 0,15                         |
| Доступность                   | 4,0                | 5,6                | 0,29                         |
| Расстояние от железной дороги | 0,7                | 1,4                | 0,07                         |
| Число владельцев участков     | 2,0                | 2,0                | 0,10                         |
| Влияние на сельское хозяйство | —                  | 1,0                | 0,05                         |
|                               |                    | 19,2               | 1,00                         |

$= 2,3$  представляет собой множитель, на который должна быть умножена важность фактора «мощность водосборного пласта» для получения важности фактора «уровень поверхности воды». Значение  $r = 4,0$  представляет соотношение

$$\frac{\text{Важность фактора «доступность»}}{\text{Важность фактора «расстояние от железной дороги»}} = 4,0.$$

Начиная снизу, записываем в таблицу последний множитель  $k = 1,0$ , а следующий множитель рассчитываем так, как это показано стрелками в табл. 11.7. Множитель для второй строки снизу есть результат произведения  $k_i r_i = 1,0 \cdot 2,0 = 2,0$ . Следующий множитель равен  $2,0 \cdot 0,7 = 1,4$  и т. д. Затем множители суммируются (их сумма равна 19,2). Веса получают нормализацией множителей таким образом, чтобы сумма весов равнялась бы 1 (см. последнюю графу в таблице).

### Шаг 2. Проверка весов факторов на непротиворечивость

Факторы записывают в порядке убывания их весов, как это сделано в табл. 11.8. Веса складывают согласно стрелкам, начиная снизу таблицы, где последний вес фактора  $s_1$  равен последнему весу фактора  $w_i$ . Читатель должен заметить, что последний вес  $s_i$  находится на предпоследней строке. Следующий

Таблица 11.8

Вычисление кумулятивного веса для проверки весов факторов на непротиворечивость

| Фактор                        | Вес $w_i$ | Кумулятивный вес $s_i$ |
|-------------------------------|-----------|------------------------|
| Уровень поверхности воды      | 0,34      | 0,66                   |
| Доступность                   | 0,29      | 0,37                   |
| Мощность водосборного пласта  | 0,15      | 0,22                   |
| Число владельцев участков     | 0,10      | 0,12                   |
| Расстояние от железной дороги | 0,07      | 0,05                   |
| Влияние на сельское хозяйство | 0,05      | —                      |

вес фактора равен  $0,05 + 0,07 = 1,12$  и т. д. Проверка на непротиворечивость выполняется сравнением весов  $w_i$  с соседними весами  $s_i$ . Она заключается в выяснении того, согласен ли «консультант» с тем, что фактор с весом  $w_i = 0,34$  менее важен, чем соседний фактор с весом  $s_i = 0,66$ , представляющим сумму весов всех остальных факторов. Следующий вес  $w_i = 0,29$  также показывает, что фактор «доступность» менее важен, чем сумма

Таблица 11.9

## Оценка отдельных параметров и вариантов

| Параметры, или факторы           | Отношение<br>оценочных<br>баллов<br>полезности | Множитель | Нормализо-<br>ванные<br>оценочные<br>баллы<br>полезности |
|----------------------------------|------------------------------------------------|-----------|----------------------------------------------------------|
| 1. Уровень поверхности воды      |                                                |           |                                                          |
| NW                               | 1,4                                            | 1,4       | 0,40                                                     |
| NE                               | 1,0                                            | 1,0       | 0,30                                                     |
| SE                               | —                                              | 1,0       | 0,30                                                     |
|                                  |                                                | 3,4       | 1,00                                                     |
| 2. Мощность водосборного пласта  |                                                |           |                                                          |
| NW                               | 1,1                                            | 1,0       | 0,34                                                     |
| NE                               | 0,9                                            | 0,9       | 0,32                                                     |
| SE                               | —                                              | 1,0       | 0,34                                                     |
|                                  |                                                | 2,9       | 1,00                                                     |
| 3. Доступность                   |                                                |           |                                                          |
| NW                               | 0,3                                            | 0,7       | 0,18                                                     |
| NE                               | 2,2                                            | 2,2       | 0,56                                                     |
| SE                               | —                                              | 1,0       | 0,26                                                     |
|                                  |                                                | 3,9       | 1,00                                                     |
| 4. Расстояние от железной дороги |                                                |           |                                                          |
| NW                               | 1,3                                            | 1,8       | 0,43                                                     |
| NE                               | 1,4                                            | 1,4       | 0,33                                                     |
| SE                               | —                                              | 1,0       | 0,24                                                     |
|                                  |                                                | 4,2       | 1,00                                                     |
| 5. Число владельцев участков     |                                                |           |                                                          |
| NW                               | 1,0                                            | 1,4       | 0,37                                                     |
| NE                               | 1,4                                            | 1,4       | 0,37                                                     |
| SE                               | —                                              | 1,0       | 0,26                                                     |
|                                  |                                                | 3,8       | 1,00                                                     |
| 6. Влияние на сельское хозяйство |                                                |           |                                                          |
| NW                               | 0,4                                            | 0,4       | 0,17                                                     |
| NE                               | 0,9                                            | 0,9       | 0,39                                                     |
| SE                               | —                                              | 1,0       | 0,44                                                     |
|                                  |                                                | 2,3       | 1,00                                                     |

остальных четырех факторов, потому что  $w_i < c_i$  ( $0,29 < 0,37$ ). Для фактора «расстояние от железной дороги» вес  $w_i > c_i$ , что указывает на то, что этот фактор более важный, чем фактор «влияние на сельское хозяйство». Если приведенные оценки не совпадают с оценочными суждениями «консультанта», требуется подкорректировать исходные отношения, на основе которых получены значения, приведенные в таблице.

### *Шаг 3. Выведение оценок полезности для каждого фактора и каждого варианта*

Процедура выведения оценок полезности, или приписывания баллов, аналогична процедуре, которая использовалась на шаге 1 для расчета весов факторов. Таблица 11.9, где сочетаниями букв NW, NE и SE обозначены рассматриваемые участки местности (варианты), показывает выполнение сравнения. Как и выше, отношения оценок полезности, выраженных в баллах, представляют результаты сравнений таких оценок по вариантам для конкретного рассматриваемого параметра. Таким образом, оценка функции полезности для варианта NW по фактору «уровень поверхности воды» считается в 1,4 раза более важной, чем оценка функции полезности для варианта NE по тому же фактору, или параметру. Все отношения, множители и нормализованные веса получены так, как было описано выше.

Важно отметить, что оценочные баллы полезности должны быть получены из функции полезности, графическое представление которой было дано на рис. 11.11. Кривые, изображенные на рисунке, показывают взаимозависимость между значениями параметра  $i$  и оценкой полезности. Различные оценки полезности получаются из различных функций полезности для параметра  $i$  путем определения оценочных баллов полезности  $u_i$  для каждого варианта  $j$ . Необходимо заметить, что баллы оценки полезности принимают значения от 0 до 1 и являются безразмерными величинами; эта особенность позволяет обойти проблему сложения несоизмеримых оценок. Вследствие того что эти величины безразмерные, полные оценочные баллы можно складывать, как будет показано на следующем шаге расчетов. Функции полезности не обязательно должны быть линейными: по виду они аналогичны тем функциям, которые были описаны в предыдущем примере (шаг 4Б) по оценке деятельности профессорско-преподавательского состава.

### *Шаг 4. Вычисление полных взвешенных оценочных баллов*

Полные оценочные баллы получают умножением нормализованных весов факторов на нормализованные оценочные баллы полезности по каждому фактору для каждого варианта (табл. 11.10). Результаты показывают, что варианты должны

Таблица 11.10

Вычисление взвешенных оценочных баллов полезности для трех вариантов  
с использованием алгоритма Кли

| Фактор                                | Нормализо-<br>ванный вес<br>$w_i$ | Варианты                                                 |                                  |                                                          |                                  |                                                          |                                  |
|---------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------|
|                                       |                                   | NW                                                       |                                  | NF                                                       |                                  | SE                                                       |                                  |
|                                       |                                   | Нормализо-<br>ванные<br>оценочные<br>баллы<br>полезности | Взвешенные<br>оценочные<br>баллы | Нормализо-<br>ванные<br>оценочные<br>баллы<br>полезности | Взвешенные<br>оценочные<br>баллы | Нормализо-<br>ванные<br>оценочные<br>баллы<br>полезности | Взвешенные<br>оценочные<br>баллы |
| 1. Уровень воды                       | 0,34                              | 0,40                                                     | 0,136                            | 0,30                                                     | 0,102                            | 0,30                                                     | 0,102                            |
| 2. Мощность водосбор-<br>ного пласта  | 0,15                              | 0,34                                                     | 0,051                            | 0,32                                                     | 0,048                            | 0,34                                                     | 0,051                            |
| 3. Доступность                        | 0,29                              | 0,18                                                     | 0,052                            | 0,56                                                     | 0,162                            | 0,26                                                     | 0,075                            |
| 4. Расстояние от желез-<br>ной дороги | 0,07                              | 0,43                                                     | 0,030                            | 0,33                                                     | 0,023                            | 0,24                                                     | 0,017                            |
| 5. Число владельцев<br>участков       | 0,10                              | 0,37                                                     | 0,037                            | 0,37                                                     | 0,037                            | 0,26                                                     | 0,026                            |
| 6. Влияние на сельское<br>хозяйство   | 0,05                              | 0,17                                                     | 0,009                            | 0,39                                                     | 0,020                            | 0,44                                                     | 0,022                            |
| Итоговые оценки                       |                                   | $U_{NW} = \overline{0,315}$                              |                                  | $U_{NE} = \overline{0,392}$                              |                                  | $U_{SE} = \overline{0,293}$                              |                                  |
|                                       |                                   | Примем 0,32                                              |                                  | Примем 0,39                                              |                                  | Примем 0,29                                              |                                  |

быть расположены (или ранжированы) в порядке уменьшения их оценок следующим образом:

$$NE > NW > SE.$$

Как мы отмечали выше, результаты должны быть только порядковыми числами. Так как были проведены проверки на непротиворечивость ранжирования, а оценочные баллы безразмерны, результаты не могут выражаться количественными числами. Такого же упорядочения вариантов можно было бы достичь, если бы мы решали эту задачу не с применением алгоритма Кли, а с привлечением общей процедуры сравнения, проиллюстрированной выше. При этом необходимо соблюдение следующих условий: а) вычисление весов факторов и подфакторов должно выполняться, исходя из тех же самых исходных посылок; б) следует применять те же самые проверки на непротиворечивость при ранжировании факторов, подфакторов, а также оценочных баллов функции полезности; в) в обеих процедурах надо использовать одни и те же функции полезности.

#### 4. Построение системы оценки окружающей среды<sup>1)</sup>

Одна из первых серьезных попыток разработки метода оценки окружающей среды была проделана в связи с установлением последствий реализации проектов использования водных ресурсов на окружающую среду. Система оценки окружающей среды (EES — Environmental Evaluation System), на основных моментах которой мы остановимся ниже, была разработана Институтом им. Баттеля для бюро мелиорации США [73].

На примере этой системы проиллюстрируем подход к решению проблемы оценки многомерных вариантов в связи с окружающей средой.

Система оценки окружающей среды организована иерархически: она имеет четыре уровня общности. *Экологические категории* (первый уровень) разбиваются на *экологические компоненты* (второй уровень). Компоненты в свою очередь подразделяются на *экологические параметры* (третий уровень); последние возможно оценить путем проведения *экологических измерений* (четвертый уровень). Таким образом, общее изменение окружающей среды и влияние на нее внешних воздействий можно представить «деревом решений», или «иерархией критериев», как это показано на рис. 11.13.

<sup>1)</sup> Environmental Evaluation System for Water Resource Planning. (С решения Battelle Memorial Laboratories and Publications Branch, Division of General Services, U. S.)



Таблица 11.11

**Иерархия системы оценки окружающей среды [73]  
(Используется с разрешения.)**

*Категории окружающей среды*

- I. Экология
- II. Загрязнение
- III. Эстетический аспект
- IV. Социальный аспект

*Компоненты категорий*

- |                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>I. Экология</b><br/>Виды и их численность<br/>Ареалы распространения и сообщества<br/>Экосистемы</p>                                    | <p><b>II. Загрязнение окружающей среды</b><br/>Загрязнение воды<br/>Загрязнение атмосферы<br/>Загрязнение почвы<br/>Шумы</p>                                                |
| <p><b>III. Эстетический аспект</b><br/>Местность<br/>Воздух<br/>Вода<br/>Флора и фауна<br/>Объекты, созданные человеком<br/>Экокомпозиция</p> | <p><b>IV. Социальный аспект</b><br/>Научно-просветительная программа<br/>Историческая программа<br/>Культурная программа<br/>Настроение, состояние духа<br/>Образ жизни</p> |

*Примеры параметров окружающей среды: I. Экология*

- |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Виды и их численность</b></p> <p><b>Наземные</b><br/>Травоядные животные<br/>Зерновые культуры<br/>Естественная растительность<br/>Вредные виды<br/>Пернатая горная дичь</p> <p><b>Водные</b><br/>Промысловая рыба<br/>Естественная растительность<br/>Вредные виды<br/>Непромысловая рыба<br/>Водоплавающая дичь</p> | <p><b>Ареалы распространения и сообщества</b></p> <p><b>Наземные</b><br/>Кормовая база<br/>Использование земель<br/>Редкие и исчезающие виды<br/>Многообразие видов</p> <p><b>Водные</b><br/>Кормовая база<br/>Редкие и исчезающие виды<br/>Характеристики рек<br/>Многообразие видов</p> <p><b>Экосистемы</b><br/>Только описательные характеристики</p> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Аналогичным образом каждый из компонентов оставшихся трех категорий окружающей среды (загрязнение окружающей среды, эстетический и социальный аспекты) разделяется на параметры окружающей среды.

Экологические категории, описывающие окружающую среду, являются основными типами в классификации взаимодействия человека с окружающей средой. Экологические компоненты являются группами сходных экологических параметров и представляют собой понятия промежуточного уровня абстракции.

Экологические параметры окружающей среды считаются ключевым уровнем взаимодействия с окружающей средой в рассматриваемой системе. Каждый параметр отображает некоторый аспект, имеющий значение в системе окружающей среды и заслуживающий отдельного рассмотрения. Для проведения экологических измерений пользуются специальными единицами. Иерархия системы оценки окружающей среды представлена в табл. 11.11. Ценность этой системы заключается в нахождении

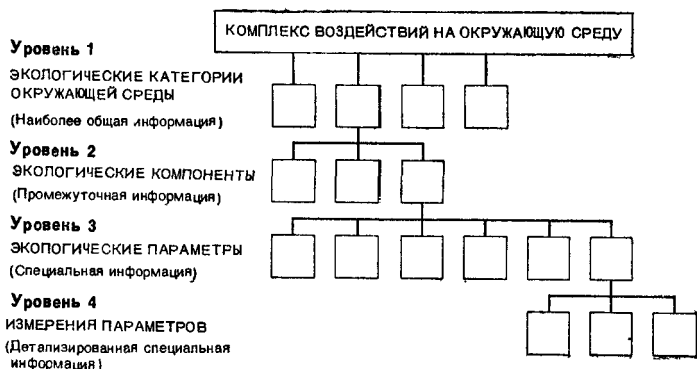


Рис. 11.13. Иерархическая структура системы оценки окружающей среды [73].  
(Используется с разрешения.)

таких типов экологических измерений, которые могут быть практически определены в легко получаемых единицах, что и было достигнуто объединенными усилиями авторов данного исследования. Приведенную иерархическую схему можно использовать для иллюстрации на практических примерах понятия сложности [74]. В этом случае каждый тип сложности в системах производства рассматривается и строится иерархически с помощью а) компонентов, б) параметров, или переменных, и в) единиц измерения.

### Присвоение весов в системе оценки окружающей среды

Веса должны присваиваться каждому параметру системы относительно других. Так, мы ищем порядковые меры относительных достоинств различных аспектов качественной стороны окружающей среды. Ниже приводятся шаги, которые следует выполнить для получения таких весов. Используется метод парного сравнения, предложенный Шепардом и Крускалом и рассмотренный в разделе об анализе предпочтений, близостей и подобий.

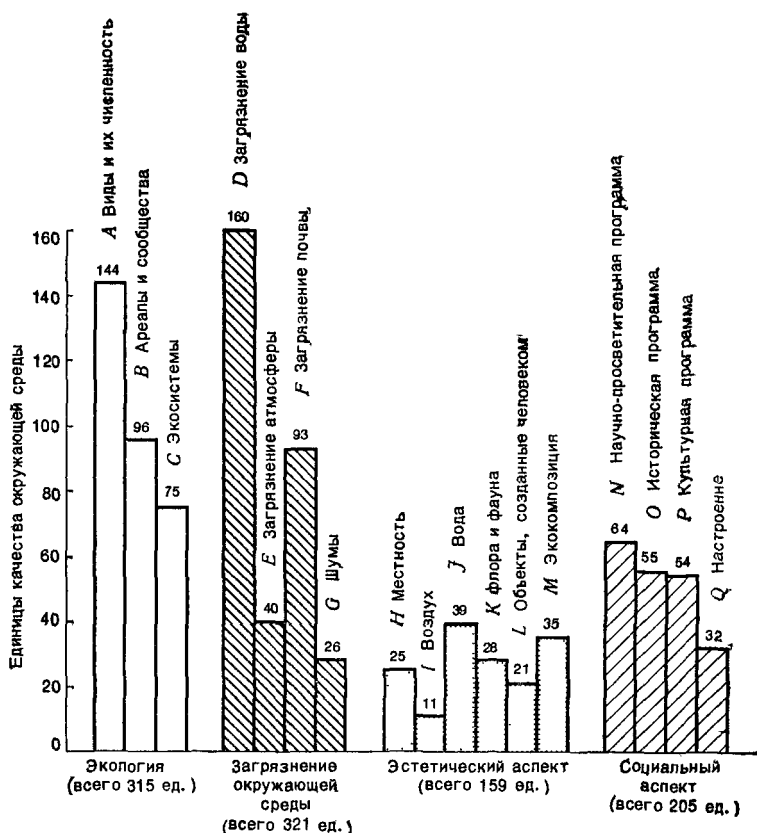


Рис. 11.14. Пример распределения 1000 единиц относительных весов между компонентами системы оценки окружающей среды [73]. (Используется с разрешения).

Шаги 9 и 10, указывающие, каким образом веса могут быть выбраны и затем итеративно изменены, можно рассматривать как пример дельфийского метода [75]. По окончании каждой итерации участники получают возможность модифицировать назначенные ими веса с учетом результатов присваивания весов другими членами «судейской коллегии». Этот метод также хорошо подходит и при использовании общей процедуры сравнения многомерных вариантов, которая разбиралась в предыдущем разделе этой главы. Читателю, в частности, рекомендуется обратиться к шагу 6 этой процедуры и его дополнению.

Сумма весов в системе оценки окружающей среды берется за 1000 единиц, которые распределяются по всему диапазону параметров. Пример такого распределения приведен на рис. 11.14.

Читатель, вне сомнения, понимает, что эти веса являются только отражением предпочтений некоторой группы «судей» и что они могут оказаться совершенно иными для другой группы. Для получения таких весов выполняются шаги, которые будут описаны ниже.

### Процедуры присвоения весов [76]

Процедура, выбранная для определения относительной важности каждого из параметров системы оценки окружающей среды, состоит в ранжировании и парном сравнении. Каждого эксперта просят упорядочить категории, компоненты или параметры, а затем сравнить по степени важности объект наивысшего ранга с непосредственно следующим за ним. Последовательным выполнением этой процедуры достигается получение веса для каждого параметра. Эту процедуру повторяют несколько раз с разными группами экспертов для того, чтобы получить желательное число вариантов оценок для более полного представления мнений и для повышения надежности результатов. Агрегированные значения, основанные на нескольких итерациях, используются при составлении оценочных шкал. Для получения управляемой обратной связи использовался дельфийский метод.

### *Шаги, выполняемые при присвоении весов*

Веса параметров отражают относительную важность измерения соответствующих параметров и являются показателями той степени, до которой подлежащий оценке проект «может нарушить или ухудшить динамическую стабильность взаимоотношений человека с природой и социальной окружающей средой».

Метод Баттеля состоит из десяти шагов, которые приводятся ниже и сопровождаются числовым примером.

**Шаг 1.** Отбор группы экспертов для проведения оценок. Объяснение им подробностей процедуры взвешивания и использования результатов ранжирования и присвоения весов.

**Шаг 2.** Ранжирование категорий, компонентов или параметров, которые должны быть оценены.

**Шаг 3.** Присваивание значения 1 первой категории в списке. Затем сравнение второй категории с первой для определения их взаимного расположения. Выражение этой величины в форме десятичной дроби ( $0 < x \leq 1$ ).

**Шаг 4.** Продолжение парного сравнения до тех пор, пока не будет закончен список (сравнение третьей категории со второй, четвертой с третьей и т. д.).

**Шаг 5.** Перемножение процентов и выражение через общий знаменатель; осреднение по всем экспертам, принимающим участие в оценке.

**Шаг 6.** При присваивании весов категориям или компонентам внесение поправки в десятичные значения, полученные на шаге 5, если в оцениваемых группах параметров оказалось неравное число членов. Поправка выполняется пропорциональным пересчетом этих десятичных значений в соответствии с числом параметров, включенных в данную группу. Авторы метода предупреждают на этом этапе, что при иерархической системе параметров предполагается равное число элементов в каждой группе. Если же их количества разные, то значения оценок следует «подправить» пропорционально числу элементов в каждой группе.

**Шаг 7.** Умножение средних значений, полученных на шаге 6, на число единиц качества окружающей среды, которые должны быть распределены по соответствующим группам.

**Шаг 8.** Прodelать шаги со 2-го по 7-й для всех категорий, компонентов и параметров системы оценки окружающей среды.

**Шаг 9.** Указать членам экспертной группы с помощью управляемой обратной связи групповые результаты процедуры присваивания весов.

**Шаг 10.** Повторение эксперимента с той же группой лиц или с другой группой для повышения надежности результатов.

В качестве числового примера рассмотрим три компонента  $A$ ,  $B$  и  $C$ , которые состоят из восьми параметров: четыре входят в  $A$ , два — в  $B$  и два — в  $C$ .

**Шаг 2.** Ранжирование компонентов  $B$ ,  $C$ ,  $A$ .

**Шаги 3, 4.** Присвоение весов:  $B = 1$ ,  $C = 1/2$  важности  $B$ ,  $A = 1/2$  важности  $C$ .

**Шаг 5.** Перемножение процентов и выражение через общий знаменатель. Предположим, что средние значения по всем экспертам следующие:  $B = 1$ ,  $C = 0,5$ ,  $A = 0,25$ .

$$\begin{aligned} B &= 1/1,75 = 0,57 \\ C &= 0,5/1,75 = 0,29 \\ A &= 0,25/1,75 = 0,14 \\ &\quad \underline{1,00} \end{aligned}$$

**Шаг 6.** Поправка на неравное число параметров в компонентах.

$$\begin{aligned} B &= 0,57 \cdot \frac{1}{4} = 0,14 \\ C &= 0,29 \cdot \frac{1}{4} = 0,07 \\ A &= 0,14 \cdot \frac{1}{2} = 0,07 \\ &\quad \underline{0,28} \end{aligned}$$

Используя новое суммарное значение, получаем значения компонентов:

$$B = \frac{0,14}{0,28} = 0,50$$

$$C = \frac{0,07}{0,28} = 0,25$$

$$A = \frac{0,07}{0,28} = 0,25$$

$$\overline{1,00}$$

**Шаг 7.** Умножение откорректированных значений на число единиц качества окружающей среды, которые должны быть распределены между группами параметров; например, мы располагаем 20 единицами.

$$B = 20 \cdot 0,5 = 10 \text{ единиц}$$

$$C = 20 \cdot 0,25 = 5 \text{ единиц}$$

$$A = 20 \cdot 0,25 = 5 \text{ единиц}$$

**Шаг 8.** Продолжать процедуру до тех пор, пока не будут получены надежные результаты.

### Получение функции ценности [77]

Процедура такой оценки состоит из деления диапазона показателей качества окружающей среды (0—1) на некоторое число равных интервалов. Для каждого из этих интервалов устанавливается оценка функциональной зависимости между интервалом и значением параметра. Повторение этой процедуры несколько раз позволяет найти график функции ценности.

Для нахождения функции ценности для каждого параметра необходимо проделать следующие шаги.

**Шаг 1.** Получить научно обоснованную информацию (в тех случаях, когда она, конечно, имеется) о зависимостях между параметром и качеством окружающей среды. Кроме того, необходимо собрать экспертов в данной области для разработки функции ценности.

**Шаг 2.** Упорядочить шкалу измерения параметров таким образом, чтобы наименьшим значением оценки параметра был нуль и в положительном направлении происходило возрастание значений, отрицательные величины не допускаются.

**Шаг 3.** Разделить шкалу качественной оценки (0—1) на равные интервалы и выразить отношение между интервалом и параметром. Продолжать процедуру до тех пор, пока не будет построена кривая.

**Шаг 4.** Осреднить все кривые по всем экспертам для получения групповой кривой. (Для параметров, основанных только на оценочных суждениях, функцию ценности следует определять достаточно представительной группой экспертов.)

**Шаг 5.** Указать экспертам, оценивающим функцию ценности, форму групповой кривой и результаты, которые ожидаются от использования таких кривых в системе оценки окружающей среды. Решить, требуется ли внесение модификаций; если да, то перейти к шагу 3, если нет, то продолжать.

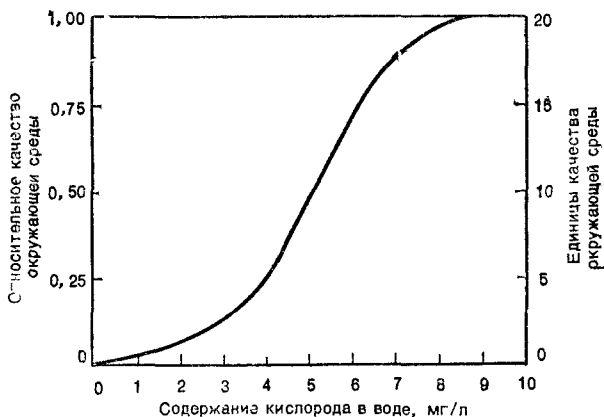


Рис 11.15 Функция ценности содержания кислорода в воде [73] (Используется с разрешения)

**Шаг 6.** Повторить процедуру с шага 1 до шага 5, пока не будут получены кривые для всех параметров.

**Шаг 7.** Повторить эксперимент с той же или другой группой для повышения надежности функций.

Относительно простым примером получения функций ценности может служить оценка параметра, который мы назовем содержанием кислорода в воде. Предположим, что группа специалистов по качеству воды сошлась во мнениях по следующей взаимозависимости между содержанием кислорода в воде и общим качеством окружающей среды, которая представляется уровнями содержания кислорода. (Ценность содержания кислорода прежде всего связана с поддержанием условий существования водных флоры и фауны).

Иными словами, в приводимом примере содержание кислорода в воде в количестве 4 мг/л оценивается в 25% максимального значения его оценки, в то время как содержание в количестве 9 мг/л и выше обеспечивает 100% (Стандарт национальной организации содействия развитию санитарии США).

На основе приводимых ниже оценок графическое изображение функции ценности содержания кислорода в воде показано на рис. 11.15.

| Уровень содержания кислорода, мг/л | Относительное качество окружающей среды | Уровень содержания кислорода, мг/л | Относительное качество окружающей среды |
|------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------|
| 0                                  | 0                                       | 6                                  | 0,75                                    |
| 1                                  | 0,05                                    | 7                                  | 0,85                                    |
| 2                                  | 0,10                                    | 8                                  | 0,95                                    |
| 3                                  | 0,15                                    | 9                                  | 1,00                                    |
| 4                                  | 0,25                                    | 10                                 | 1,00                                    |
| 5                                  | 0,45                                    |                                    |                                         |

Функция ценности для каждого уровня содержания кислорода умножается на весовую функцию, присвоенную этому параметру. Например, содержание кислорода было оценено в 20 единиц качества окружающей среды. Таким образом, можно показать, что существует следующая зависимость, основанная на значениях функции ценности и взвешивании.

| Уровень содержания кислорода, мг/л | Оценка, единицы качества окружающей среды | Уровень содержания кислорода, мг/л | Оценка, единицы качества окружающей среды |
|------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------|
| 0                                  | 0                                         | 6                                  | 15                                        |
| 1                                  | 1                                         | 7                                  | 17                                        |
| 2                                  | 2                                         | 8                                  | 19                                        |
| 3                                  | 3                                         | 9                                  | 20                                        |
| 4                                  | 5                                         | 10                                 | 20                                        |
| 5                                  | 9                                         |                                    |                                           |

Итоговый показатель качества окружающей среды при использовании такого подхода есть результат построения аддитивной функции взвешенных произведений числовых значений функции и присвоенных весов. Такая модель подсчета аналогична модели, которая использовалась в общей процедуре сравнения сложных многомерных вариантов, и была обсуждена выше в этой главе (обратите особое внимание на шаги 4 и 5 в ее описании). В том случае «функция ценности» называлась функцией полезности, но обе они выражают по существу одно и то же.



## 5. Модель планирования водных ресурсов <sup>1)</sup>

Модель, к которой мы переходим, является первой попыткой применения новой методологии, призванной заменить устаревший подход анализа прибыли — издержки, с помощью которого руководители в области планирования и использования водных ресурсов оценивали варианты проектов. Модель состоит из иерархического дерева первичных целей, которые являются функциями подцелей. В свою очередь определенные переменные, называемые *социальными показателями* (SI), описывают условия, относящиеся к достижению подцелей. Таким образом, иерархическая структура, или «иерархия критериев», может быть сформулирована и определена. Было выделено девять целей социального порядка:

1. Коллективная безопасность.
2. Экологическая безопасность.
3. Индивидуальная безопасность.
4. Экономические возможности.
5. Культурные и социальные возможности.
6. Эстетические возможности.
7. Рекреационные возможности (возможности для отдыха).
8. Индивидуальная свобода и возможности.
9. Возможности в области образования.

Каждая первичная цель определяется конечным числом подцелей. Дополнительные уровни подцелей используются для уточнения непосредственно стоящих над ними подцелей. Например, одна из первичных целей в приведенном списке первичных целей — *экономические возможности*. Эта цель подразделяется на следующие подцели:

Жизненный уровень в настоящий момент.

Будущий жизненный уровень.

Равные экономические возможности.

Эти три подцели делятся далее следующим образом:

### 4. Экономические возможности

#### 41. Жизненный уровень в настоящий момент

##### 411. Доход

##### 412. Потребление товаров и пользование услугами

##### 4121 Цены товаров и услуг

##### 4122 Качество товаров и услуг

##### 4123 Выбор товаров и услуг

##### 413. Свободное время

##### 414. Экономическая стабильность

<sup>1)</sup> Water Resources Planning, Social Goals, and Indicators. (С разрешения Utah Water Research Laboratory and Water Resources Scientific Information Center, Department of the Interior, U. S. Government.)

## 42. Будущий жизненный уровень

421. Возможности оставить работу

422. Возможности для сбережения денег или вклада их в дело

423. Возможности получения пособия в связи с уходом с работы

## 43. Равные экономические возможности

Цели и подцели по своей природе неизмеряемы; они представляют собой понятия, выражающие желания людей, и представляются абстрактно в словесной форме.

На самом нижнем уровне подцелей предполагаются подлежащие измерению свойства, которые описывают условия, ведущие к достижению данной подцели. Эти свойства, или переменные, и есть те социальные показатели, о которых мы упоминали. Например, подцель 414 «экономическая стабильность» описывается сочетанием следующих социальных показателей:

414(1). Темп роста доходов на душу населения (в процентах)

414(2). Темп инфляции (в государственном масштабе)

414(3). Уровень безработицы (в процентах)

414(4). Банкротство коммерческих предприятий (в процентах от общего числа фирм).

Первая цифра каждого из показателей относится к номеру первичной цели; каждая последующая цифра определяет номер подцели; на уровень иерархии указывает позиция цифры в номере индекса. В некоторых случаях конкретный социальный показатель может относиться больше чем к одной подцели. На рис. 11.16 показано разбиение двух целей — экономические возможности и рекреационные возможности (возможности для отдыха).

Таким образом, иерархия строится от общего к частному, от целого к частям, от ненаблюдаемого к наблюдаемому, от неизмеряемого к измеряемому хотя бы частично. Группа социальных показателей есть результат логического процесса подчинения, примененного к некоторому набору национальных целей. Хотя приведенный выше пример относится к составлению проекта водных ресурсов, данную методику можно использовать для разработки любых других проектов, если при этом возможно определить социальные показатели, выводимые из целей. Приемлемые наборы целей, подцелей и соответствующих социальных показателей могут быть составлены на основе данных анкетных и устных опросов. В разбираемом здесь примере был выполнен анализ результатов устного опроса, касающегося социальных целей. Специальная методика проведения таких опросов заключается в предложении вопросов типа: «Вообразите загрязнение воздуха и опишите компоненты представленной

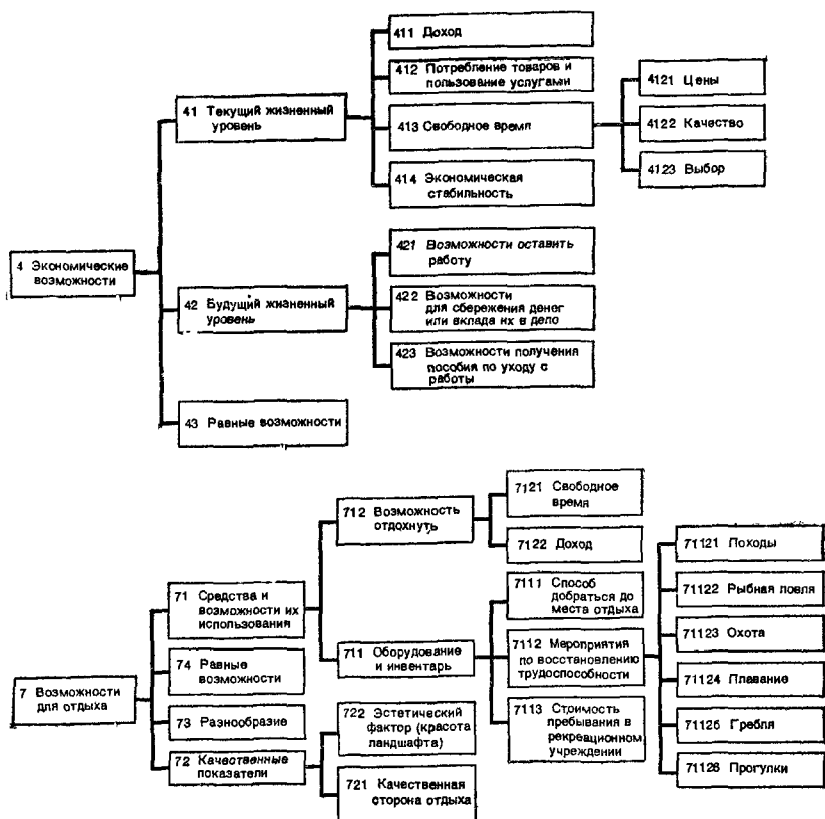


Рис. 11.16. Иерархическая структура целей: экономические возможности и возможности для отдыха [78]. (Используется с разрешения.)

вами картины» или «Назовите пять экономических факторов, которые оказывают влияние лично на вас, и объясните почему». На основе таких списков характеристик целей, а также относительной частоты, с которой опрашиваемые лица указывали ту или иную характеристику, составляется агрегированный вариант списка. Этот итоговый список должен быть приемлемым для планировщиков, понятным и доходчивым для широких кругов общества. Описания, или формулировки, целей включены в иерархическую структуру решений. В результате в окончательном списке целей пожелания опрошенных людей уравниваются требованиями планировщиков.

### Численное представление социальных целей [78]

Придя к согласованному набору целей и подцелей, доступному для понимания различным слоям населения, для которого

создается программа, мы встаем перед задачей численного представления элементов списка. А для этого необходим метод агрегирования поддающихся измерению социальных показателей в значения подцелей, к которым эти показатели относятся, а затем «проведения» этих значений вверх по дереву решения с тем, чтобы в конечном итоге достичь целей высшего порядка.

1. Основным моментом для этой процедуры является установление весов предпочтительности для каждого набора подцелей. Все стороны, заинтересованные в разработке системы, принимают участие в процедуре, вырабатывающей относительные веса для подцелей. Анкеты с вопросами по каждой подцели (табл. 11.12) позволяют получить название и определение подцели и относящийся к ней набор социальных показателей.

Таблица 11.12

**Пример вопроса из второго раунда заполнения анкеты, относящегося к цели «экономические возможности» [78].**

**(Экспертов просили оценить относительную важность каждого показателя подцели в соответствии с его значением в достижении подцели.)<sup>1)</sup>**

*Наименование подцели:* экономическая стабильность

*Определение:* уверенность в работе и отсутствие инфляции в общегосударственном масштабе

Цель общества заключается в обеспечении региональной и общегосударственной экономической стабильности

Экономическая стабильность может быть измерена с привлечением следующих факторов (показателей):

1. Темп роста доходов на душу населения (в процентах)  
Медиана = 10,00 ИКД: 5—25
2. Темп инфляции (в процентах)  
Медиана = 25,00 ИКД: 10—40
3. Уровень безработицы (в процентах)  
Медиана = 33,00 ИКД: 25—70
4. Банкротство коммерческих предприятий (в процентах от их общего числа)  
Медиана = 10,00 ИКД: 0—25

Слева от приведенных здесь факторов проставьте их оценку в баллах (сумма баллов равна 100) так, чтобы число баллов, присваиваемых каждому фактору, отражало бы его важность в социальной цели «экономическая стабильность»

Если какой-либо из ваших ответов выпадает из соответствующего интерквартильного диапазона (ИКД) (размаха), обоснуйте, почему ваш ответ правильнее тех, что находятся в границах этого диапазона

<sup>1)</sup> Используется с разрешения

Экспертов просят присвоить веса  $w_i$  каждому из показателей подцели, с тем чтобы выразить его важность при достижении данной подцели. В результате выполнения этой процедуры получают веса предпочтительности для каждого набора подцелей

Таблица 11.13

Образец весов предпочтительности, присвоенных пятью различными группами экспертов наборам подцелей, относящимся к цели «возможности для отдыха» [78]<sup>1)</sup>

| Подцели                       | Средний<br>американец | Специалист<br>по охране<br>природы | Промышленник | Представитель<br>неангло-<br>этнических<br>групп | Рабочий    |
|-------------------------------|-----------------------|------------------------------------|--------------|--------------------------------------------------|------------|
| Свободное время               | 47                    | 52                                 | 48           | 43                                               | 45         |
| Доход                         | 53                    | 48                                 | 52           | 57                                               | 55         |
|                               | <u>100</u>            | <u>100</u>                         | <u>100</u>   | <u>100</u>                                       | <u>100</u> |
| Способ добраться              | 31                    | 30                                 | 29           | 31                                               | 31         |
| Мероприятия по восстановлению | 45                    | 44                                 | 53           | 47                                               | 46         |
| Стоимость пребывания          | 24                    | 26                                 | 19           | 22                                               | 23         |
|                               | <u>100</u>            | <u>100</u>                         | <u>100</u>   | <u>100</u>                                       | <u>100</u> |
| Оборудование и инвентарь      | 46                    | 41                                 | 45           | 50                                               | 47         |
| Возможность отдохнуть         | 54                    | 59                                 | 55           | 50                                               | 53         |
|                               | <u>100</u>            | <u>100</u>                         | <u>100</u>   | <u>100</u>                                       | <u>100</u> |
| Походы                        | 23                    | 24                                 | 21           | 21                                               | 22         |
| Рыбная ловля                  | 19                    | 22                                 | 20           | 20                                               | 19         |
| Охота                         | 12                    | 12                                 | 11           | 14                                               | 14         |
| Плавание                      | 15                    | 13                                 | 18           | 13                                               | 15         |
| Гребля                        | 12                    | 11                                 | 14           | 12                                               | 12         |
| Прогулки                      | 18                    | 18                                 | 16           | 20                                               | 17         |
|                               | <u>100</u>            | <u>100</u>                         | <u>100</u>   | <u>100</u>                                       | <u>100</u> |

<sup>1)</sup> Используется с разрешения

(табл. 11.13). Здесь веса предпочтительности для подцелей, относящихся к цели «рекреационные возможности», получены от пяти различных групп экспертов. Присваивание весов уточнялось итерациями в ходе взвешивания, как при дельфийском методе. При разработке проекта с помощью нового метода дельфийский метод был запрограммирован на машине. Машинные программы использовались для анализа результатов конкретной итерации; для фиксации важной статистической информации, полученной в результате такого анализа, и для формирования вопросов для анкет.

2. Вторая часть процедуры численного представления социальных целей связана с выбором функций  $Q_i$ , которые определяют связь между подцелями и социальными показателями. Для получения этих зависимостей экспертов просили начертить график функциональной зависимости между достижением подцели (по шкале от 0 до 100 единиц) и значениями показателя (в его диапазоне). На основе графических оценок (в обсуждаемом здесь проекте для получения таких графических представлений

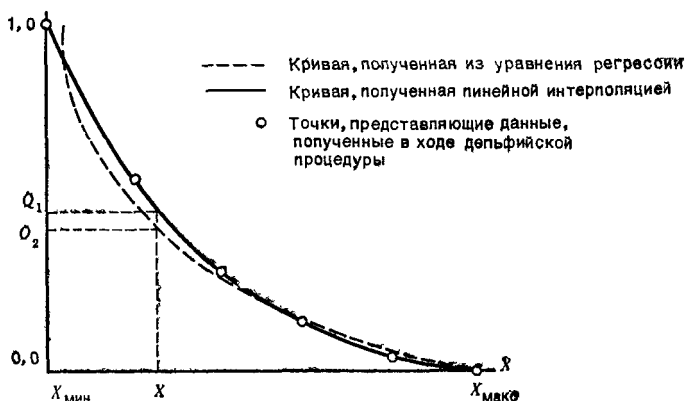


Рис. 11.17. Влияние конкретного социального показателя на подцель (ось  $Q$ ) отыскивается как функция значений социального показателя (ось  $X$ ), измеренного в соответствующих единицах.  $Q_1$  — значение  $Q$ , полученное интерполяцией точек, представляющих данные;  $Q_2$  — значение  $Q$ , полученное из уравнения регрессии [78] (Используется с разрешения.)

использовалась диалоговая машинная программа дельфийской процедуры) методом регрессии были получены значения функций  $Q_i$ . На рис. 11.17 приведен пример зависимости между значением социального показателя и его влиянием на функцию  $Q_i$  — функцию достижения подцели.

3. Наконец, с использованием весов предпочтительности  $W_i$ , полученных в части 1 процедуры, и функций  $Q_i$ , полученных в части 2, были построены математические функции, соотносящие субъективно понимаемые подцели и объективно задаваемые социальные показатели. Эти математические функции могут быть выражены в двух различных формах

$$P = \sum W_i Q_i \text{ и } P = \prod W_i Q_i,$$

где  $P$  — значение показателя,  $W_i$  — единичный вес  $i$ -го показателя, а  $Q_i$  — выражение для степени достижения подцели как функция значения  $i$ -го показателя. Примеры функций достижения подцелей для аддитивного и мультипликативного показателей приведены в табл. 11.14 и 11.15 соответственно.

Пример нахождения функций  $Q$  и весов для аддитивного показателя [78]<sup>1)</sup>

Подцель 131 — Устранение опасностей для здоровья

- 131 (1). Процент сточных вод, подвергающихся очистке  
 $W_1 = 0,319$   
 $Q_1 = -0,000002 X^3 + 0,000371 X^2 - 0,003766 X + 0,020303$ ,  
 где  $0 \leq X \leq 100$ , ед. измерения — проценты
- 131 (2). Процент утилизированных твердых отходов  
 $W_2 = 0,170$   
 $Q_2 = -0,000001 X^3 + 0,000138 X^2 - 0,004104 X + 0,004545$ ,  
 где  $0 \leq X \leq 100$ , ед. измерения — проценты
- 131 (3). Содержание бактерий в природной, не подвергнутой очистке воде  
 $W_3 = 0,266$   
 $Q_3 = 0,000002 X^3 + 0,000448 X^2 - 0,034463 X + 0,985960$ ,  
 где  $0 \leq X \leq 100$ , ед. измерения — число микробов в 1 мл
- 131 (4). Процент территории, охваченной возбудителями болезней  
 $W_4 = 0,106$   
 $Q_4 = -0,000013 X^3 + 0,001449 X^2 - 0,059012 X + 0,976465$ ,  
 где  $0 \leq X \leq 50$ , ед. измерения — проценты
- 131 (5). Число случаев заболевания за счет зараженных источников воды  
 $W_5 = 0,106$   
 $Q_5 = 0,055605 X^2 - 0,461759 X + 0,968727$ ,  
 где  $0 \leq X \leq 5$ , ед. измерения — число заболеваний на 100 000 человек за год
- 131 (6). Число погибших в результате наводнений  
 $W_6 = 0,021$   
 $Q_6 = -X + 1$ ,  
 где  $0 \leq X \leq 1$ , ед. измерения — число погибших на 100 000 человек за год
- 131 (7). Число погибших в результате несчастных случаев на воде  
 $W_7 = 0,011$   
 $Q_7 = 0,000771 X^3 - 0,007998 X^2 - 0,096905 X + 1,007475$ ,  
 где  $0 \leq X \leq 10$ , ед. измерения — число погибших на 100 000 человек за год

<sup>1)</sup> Используется с разрешения

## Два варианта применения модели [78]

1. Для синтеза различных планов действий на основе их влияния на значение связанных с ними социальных показателей. В этом случае цель заключается в модификации планов действий для улучшения процесса достижения поставленных целей и подцелей, сформулированных первоначально в виде ожидаемых значений социальных показателей. Прибегая к этому варианту использования, планировщики начинают со значений социальных показателей самого низшего уровня и получают планы действий высшего уровня, которые принесут ожидаемые результаты.

Таблица 11.15

**Пример нахождения функций  $Q$  для мультипликативного показателя [78]<sup>1)</sup>**

Подцель 613 — снижение количества раздражителей слизистой оболочки глаз

613 (1). Содержание  $\text{SO}_2$ 

$$Q_1 = 0,000017 X^3 - 0,001627 X^2 - 0,019390 X + 0,982000,$$

где  $12,5 \leq X \leq 62,5$ , ед. измерения — промилле

$$Q_1 = 1,000000,$$

где  $0 \leq X \leq 12,5$ 

613 (2). Содержание оксидов азота

$$Q_2 = -0,023200 X^2 + 0,047114 X + 0,967000,$$

где  $1,25 \leq X \leq 7,5$ , ед. измерения — промилле

$$Q_2 = 1,000000,$$

где  $0 \leq X \leq 1,25$ 

613 (3). Содержание озона

$$Q_3 = 0,000713697015 X^4 + 0,016601212923 X^3 - 0,120145458932 X^2 +$$

$$+ 0,144493513988 X + 0,993939392534,$$

где  $0 \leq X \leq 8,75$ , ед. измерения — промилле

613 (4). Механические частицы

$$Q_4 = 0,000000000034 X^4 + 0,000000067413 X^3 - 0,000045546666 X^2 +$$

$$+ 0,009906666513 X + 0,350000007327,$$

где  $125 \leq X \leq 625$ , ед. измерения — промилле

$$Q_4 = 1,0000000,$$

где  $0 \leq X \leq 125$ <sup>1)</sup> Используется с разрешения.

2. Для определения влияния планов действий на значения социальных показателей. При таком варианте использования планировщики пытаются определить результаты предпринимаемых действий, производимых на высоком уровне агрегирования, по отношению к неагрегированным переменным, или социальным факторам. В этом случае планировщик использует описанную модель для нахождения результирующих значений социальных показателей на нижнем уровне, которые получаются, когда будут приняты решения, влияющие на темпы движения к целям более высокого уровня.

В обоих случаях модель планирования является связующим звеном между измеримыми (и измеряемыми) социальными показателями и поставленными, но не измеримыми непосредственно подцелями. Модель строится при допущении, что весовые выражения предпочтений, присваиваемые связующим функциям  $Q_i$ , обладают свойствами измеримости отношений по условной шкале измерений, или, говоря иными словами, «идея, что нуль желателен для улучшения на уровне подцели, имеет смысл, и отношения сравнения предпочтительностей играют важную роль в математических требованиях к системе оценок...



Метод присваивания весов должен давать возможность измерения отношений для подцели во всем диапазоне предпочтения» [79]. Утверждение о том, что измерение предпочтений возможно при использовании условной шкалы отношений, является допущением, которое не всегда оправданно. Большинство авторов понимают, какой барьер стоит у них на пути, но все же готовы допустить эту «математическую вольность» [80].

Сходная процедура была использована и в модели измерения социальных услуг; с помощью такой процедуры «баллы критериев работы трансформировались в баллы полезности с помощью целого ряда функций преобразования, соотносящих баллы критериев с соответствующими им значениями функций полезности» [81].

Приведенный выше пример является всего лишь иллюстрацией одного из типов моделей, которые могут быть использованы для сравнения различных систем использования водных ресурсов. В настоящее время много новых методов и достижений нашли отражение в научных публикациях. В гл. 6 при описании моделей компромиссов мы ссылались на обзорную статью [82], в которой были описаны различные существующие методы и их приложения. Нам бы хотелось упомянуть также об одном частном подходе, расширяющем метод вычисления одномерного значения затраты — эффективность на принятие решения в многомерных ситуациях. Этот подход реализуется многомерной схемой принятия решений, с помощью которой ранжируются возможные варианты систем. Критерии в форме показателей работы, или мер эффективности, используются здесь «для оценки того, как хорошо работает данная система в смысле удовлетворения заданных спецификаций, а следовательно, и целей». Исследование соотношения затраты — эффективность (при фиксированных затратах или при фиксированной эффективности) выполнялось с использованием метода ELECTRE, который позволяет получить немажорируемое множество возможных систем и ранжировать их [83]. Связанные с данной темой результаты можно найти в ряде статей [84].

## 6. Другие многокритериальные модели и методы

### Целевое программирование

Данный метод, предложенный Чарнесом и Купером [85], «основан на минимизации взвешенного безусловного отклонения от установленных показателей по каждому объекту» в многоцелевых задачах с большим числом параметров, по которым принимаются решения. Целевое программирование является методом оптимизации. Его рассмотрению посвящается следующая

шая глава, где будут приведены многочисленные литературные источники и будет разобран пример применения. Целевое программирование считается очень полезным средством принятия решений в многоцелевых задачах, относящихся к «частному сектору», и менее подходящим для задач «общественного сектора», «характеризующихся нечеткостью и сложностью процессов принятия решений, когда невозможно установить конкретные значения для поставленных целей» [86]. Более подробно этот метод будет рассмотрен в следующей главе.

### Интерактивное (диалоговое) программирование

Целевое программирование было реализовано в форме алгоритма, который использует диалог с лицом, принимающим решение, для получения определенной информации, касающейся его функции полезности, по допустимым значениям критериев. Этот алгоритм является соединительным звеном между целевым программированием и интерактивными стратегиями оптимизации задач с несколькими критериями» [87].

Уоллениус и др. разработали метод интерактивного программирования для решения задач с несколькими критериями. Этот метод состоит в ведении диалога между ЛПР и вычислительной машиной, по окончании которого задача сходится к оптимальному решению. Основой достижения такой сходимости является разрешение человеком конфликтов в заданных целях по предъявлении ему графиков подлежащих максимизации вогнутых функций от переменных, выбор значений которых определяет решение. *Положительные множители*, или веса, используются для формирования сложных целевых функций, или функций полезности. Сложная целевая функция затем оптимизируется. ЛПР путем некоторой последовательности компромиссных решений находит новый набор множителей и новое решение. Этот процесс повторяют, предъявляя новые варианты компромиссов лицу, принимающему решение. В ходе такого процесса достигается сходимость функции полезности к оптимальному решению. При использовании этого метода не делается предположения, что ЛПР имеет «точное представление о той функции, которая подлежит максимизации», ЛПР располагает только «неявной функцией нескольких целей», полученной в ходе итеративного процесса разрешения последовательно предъявляемых ему конфликтов или в ходе компромиссных решений. Более подробное изложение применения этой процедуры на практике читатель найдет в оригинальной работе [88].

Зелены подчеркивает различие между подходами к принятию решений, ориентированными на «выход» (результат) и процесс.

Первый из этих подходов основывается на «том факте, что человек понимает процесс принятия решения, если он может точно предсказать его выход. Это означает, что, если проведено точное измерение достоинств всех вариантов, можно с уверенностью сказать, что выбран будет наиболее подходящий». Второй (процессно-ориентированный) подход базируется на утверждении о том, что «понимание процесса принятия решения, т. е. понимание того, как фактически достигается решение, является альтернативным путем правильного предсказания выбора» [89]. Исходя из изложенного, Зелены утверждает, что второй подход является «плодотворной альтернативой опроса» при нахождении решения многомерной задачи. Решение — «это не отдельный акт, а процесс», оно «развертывается». Зелены вводит *теорию смещенного идеала*, или интерактивную процедуру, приводящую к принятию решения через конечное число итераций. Если вначале задается «несбыточный» идеал, то возникающий конфликт и диссонанс «порождают импульс движения в сторону возможно большего приближения» к идеалу. Обращаются к процессу повторных оценок, с помощью которого менее удачные варианты отбрасываются, корректируются веса параметров, и смещение идеала происходит до тех пор, пока не будет достигнуто решение [89].

## 7. Модели типа вход-выход<sup>1)</sup> и модели системной динамики

### Модели типа вход-выход

Модели типа *вход-выход* были построены на уровне общегосударственных экономических систем, однако сейчас их начинают использовать на уровне экономики штата, региона и даже отдельной отрасли промышленности. В этом случае необходимо подробное знание взаимозависимостей и взаимосвязей между различными областями деятельности и ресурсами. Модель типа вход-выход была разработана в тридцатых годах Леонтьевым. В исходном варианте модели такая система, как экономика, разбивается по секторам и отраслям промышленности и рассчитываются объемы входов, необходимые для получения задаваемых выходов. Полученные отношения входов-выходов представляют собой потоки конверсии. Эта информация имеет особую ценность при планировании, разработке и установлении приоритетов на государственном уровне, уровне экономики

<sup>1)</sup> В отечественной литературе модели такого типа называют *балансовыми* — *Прим ред.*

штата, а также на внутри и межотраслевых уровнях промышленного производства.

На макроуровне были проделаны сравнения таблиц входов-выходов по разным странам [90, 91]. Наиболее удачными оказались модели входа-выхода, разработанные по 450 секторам промышленности. Эти модели можно применять для проведения экономических сравнений между государствами, районами и отдельными отраслями промышленности. Модель входа-выхода использовалась при проведении деловых операций, затрагивающих интересы нескольких регионов, а также для оценивания роста региональной экономики [92].

Модель входа-выхода применялась для выполнения сравнений структуры производства ряда стран: США, Японии, Италии и др. [93]. Пока еще нельзя говорить о широком использовании такой модели для оценки систем по масштабам, меньшим, чем экономика района. Эта модель была применена для решения проблемы распределения накладных расходов в промышленности [94] и в качестве средства планирования учета и отчетности [95]. Она была предложена в качестве инструмента прогнозирования в торговой сфере, для прогнозирования производственных потребностей и для оценки влияний изменений на рынке.

Динамические модели входа-выхода, учитывающие временной фактор, скорость приспособления для достижения равновесия и влияние спроса по периодам, находятся пока на стадии разработки. Мы ожидаем, что модель входа-выхода найдет применение на уровне правительства отдельного штата. В этом случае руководители различных программ смогут воспользоваться такими моделями для расчетов объемов входов, которые удовлетворяют различным вариантам спроса.

### Модели системной динамики

Модели системной динамики — специальный тип моделей, которые отражают зависимости между состояниями и потоками некоторой системы. Такая модель есть в некотором смысле модель принятия решения, так как ее можно использовать для изучения изменений уровней выходов системы, происходящих за счет флуктуаций на входах этой системы. Основные объекты модели системной динамики следующие:

1. *Уровни*, или *состояния*, соответствующие значениям переменных, которые будут подвергаться флуктуациям.
2. *Потоки* между уровнями, или состояниями.
3. *Задержка*, вызывающая сдвиги во времени, в которые происходят различные флуктуации переменных.
4. *Обратные связи* между различными уровнями, или состояниями, используя которые можно осуществлять действия по управлению, основанные на результатах предыдущих действий.

Такая модель является по существу замкнутой сетью взаимозависимых функций, с помощью которых связаны различные переменные. Лицо, принимающее решение, заинтересовано в изучении влияния изменений параметров системы на ее стабильность. Динамическая система отражает отклики на изменения входов, которые могут настолько превысить отклик на начальный сигнал, что в конечном итоге переведут систему в новое состояние равновесия. Задержки в откликах системы происходят вследствие запаздывания передачи информации между уровнями или из-за отставания физических потоков в системе [96].

Модели системной динамики обязаны своим появлением Форрестеру, разработавшему специальный язык моделирования (DYNAMO) для описания динамики производства [97]. Впоследствии этот язык был усовершенствован [98].

Разностные уравнения записываются в терминах экспоненциально сглаженных средних, что позволяет избежать необходимости вести записи по предыдущим периодам. Уровни и потоки связаны обобщенными разностными уравнениями, в которых задержки представлены как обратные величины сглаживающих ограничений [99].

Язык DYNAMO является таким же языком программирования, как и ФОРТРАН, который становится все более универсальным. Форрестер считал индустриальную динамику производства «философией структуры систем, которая постепенно превращается в комплекс принципов, связывающих структуру с поведением» [100]. «Индустриальная динамика» подвергается критике потому, что не является теорией в том смысле, что не обеспечивает 1) «прогнозирования зависимостей между переменными, которые еще не наблюдались», и 2) «проверку правильности теоретических положений путем сравнения теоретически установленных зависимостей с зависимостями, наблюдаемыми в реальности» [101].

Как и все модели вообще, «модель поведения» системы зависит от структуры моделирующих уравнений. Являясь моделью, «индустриальная динамика описывает замкнутые системы, а это значит, что формы ее поведения строятся в рамках желаемой системы» [102]. Результаты, получаемые с помощью динамической модели, не основываются на эмпирических данных и зависят от структуры и коэффициентов рассматриваемой системы. Однако представляется, что моделирование структуры системы является плодотворным методом определения динамической взаимозависимости между переменными системы и позволит понять характеристики систем, чего нельзя сказать о других методах. Методика индустриальной динамики и динамических

моделей была применена к другим системам [103—107]. Она тесно связана с теорией управления и механизмами обратной связи (см. гл. 18).

## Заключение

В этой главе мы рассмотрели одно- и многоцелевые модели принятия решений (называемые также многокритериальными) и многомерные (или мультипараметрические), с помощью которых можно оценить и изучить процесс преобразования входов системы в ее выходы. Это лишь несколько типов моделей, которыми может воспользоваться лицо, принимающее решение. Другие модели разбираются в гл. 6, 12 и 17. Только сам читатель вправе решить, какая модель наилучшим образом подойдет к конкретной ситуации или задаче. Мы не задавались целью обучить читателя всем деталям каждого метода. Книга призвана только ознакомить читателя с существующими методами и с источниками, содержащими их описание.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Quirin G. D., *The Capital Expenditure Decision*, Homewood, Ill., Irwin, 1967, p. 49.
2. Prest A. R., Turvey R., *Applications of Cost-Benefit Analysis*, *Economic Journal*, 75, 683—735 (December 1965).
3. Eckstein O., *Water Resource Development: The Economics of Project Evaluation*, Cambridge, Mass., Harvard University Press, 1958, pp. 47—48.
4. *Proposed Practices for Economic Analysis of River Basin Projects*, Federal Inter-Agency River Basin Committee, Subcommittee on Benefits and Costs, May 1950.
5. См. п. 3, с. 55.
6. Williams A., *Cost-Benefit Annlysis: Bastard Science? And/or Insidious Poison in the Body Politick?*, in Wolfe J. N. (ed.), *Cost Benefit and Cost Effectiveness*, London, Allan and Unwin, 1973, p. 37.
7. Kneese A. V., *Management Science, Economics and Environmental Science*, *Management Science*, 19, 10, 1130 (June 1973).
8. Там же, с. 1130.
9. См. п. 1, с. 71—72.
10. См. п. 7, с. 1123.
11. Baumol W. J., *Welfare Economics and the Theory of the State* (2nd ed.), Cambridge, Mass., Harvard University Press, 1965.
12. Arrow K. J., *Discounting the Public Investment Criteria*, in Kneese A. V., Smith S. C. (eds.), *Water Research*, Baltimore, Johns Hopkins Press, 1966.
13. Baumol W. J., *On the Social Rate of Discount*, *American Economic Review*, 58, 788—892 (September 1968).
14. Baumol W. J., *On the Discount Rate for Public Projects*, in Haveman R. H., Margolis J. (eds.), *Public Expenditures and Policy Analysis*, Chicago, Markham, 1970, ch. 10.
15. Arrow K. J., Lind R. C., *Uncertainty and the Evaluation of Public Investment Decisions*, *American Economic Review*, 60, 364—378 (June 1970).

16. См. п. 6, с. 37.
17. Mishan E. J., Cost-Benefit Rules for Poorer Countries — A Review Article, *Canadian Journal of Economics*, 4, 86—98 (January—February 1971).
18. Margolis J., Secondary Benefits, External Economics and the Justification of Public Investment, *Review of Economics and Statistics*, 39, 284—291 (1957).
19. См. п. 7.
20. Cushman P., Methadone Maintenance in Hard Core Criminal Addicts, *New York Journal of Medicine*, 71, 14 (July 15, 1971).
21. Grosse R. N., An Introduction to Cost-Effectiveness Analysis, Paper RAC-P-5, McLean, Va., Research Analysis Corporation, July 1965, p. 25.
22. Там же, с. 19, 26.
23. The Cost and Effectiveness Paper, Planning Programming Budgeting for City, State, County Objectives, PPB Note 12, Washington D. C., State-Local Finances Project, Public Services Laboratory, Georgetown University, May 1971.
24. Mushkin S. J., Freiden R., The Case of Lead Poisoning: Prevention and Control in D. C., PPB Note 13, Washington D. C., State-Local Finances Project, Public Services Laboratory, Georgetown University, 1972.
25. Grosse R. N., Problems of Resources Allocation in Health, in Havenman R. H., Margolis J. (eds.), *Public Expenditures and Policy Analysis*, Chicago, Markham, 1970, pp. 518—548.
26. Cohon J. L., Marks D. H., A Review and Evaluation of Multiobjective Programming Techniques, *Water Resources Research*, 11, 2, 208—220 (April 1975).
27. Cohon J. L., Marks D. H., Multiobjective Screening Models and Water Resource Investment, *Water Resources Research*, 9, 4, 826—836 (August 1973).
28. См., например, Keeney R. L., Kirkwood C. W., Group Decision Making Using Cardinal Social Welfare Functions, *Management Science*, 22, 4, 430—437 (December 1975); Keeney R. L., A Group Preference Axiomatization with Cardinal Utility, *Management Science*, 23, 2, 140—145 (October 1976).
29. Keeney R. L., Multiplicative Utility Functions, *Operations Research*, 22, 1, 22—34 (January—February 1974).
30. Там же, с. 23.
31. Keeney R. L., A Decision Analysis with Multiple Objectives, The Mexico City Airport, *Bell Journal of Economic and Management Science*, 4, 1, 101—117 (Spring 1973); de Neufville R., Keeney R. L., Use of Decision Analysis in Airport Development for Mexico City, in de Neufville R., Marks D. H. (eds.), *Systems Engineering and Design*, Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall, 1974, pp. 349—369; Drake A. W., Keeney R. L., Morse D. M. (eds.), *Analysis for Public Systems*, Cambridge, Mass., MIT Press, 1972, ch. 23; Keeney R. L., A Utility Function for Response Times and Ladders to Fires, *Urban Analysis*, 1, 209—222 (1973); Giaque W. C., Peebles T. C., Application of Multidimensional Utility Theory in Determining Optimal Test-Treatment Strategies for Streptococcal Sore Throat and Rheumatic Fever, *Operations Research*, 24, 5, 933—950 (September—October 1976); Krischer J. P., Utility Structure of a Medical Decision-Making Problem, *Operations Research*, 24, 5, 951—972 (September—October 1976).
32. Fishburn P. C., Keeney R. L., Generalized Utility Independence and Some Implications, *Operations Research*, 23, 5, 928—940 (September—October 1975).
33. Keeney R. L., Raiffa H., *Decision Analysis with Multiple Objectives*, New York, Wiley, 1976.
34. Huber G. P., Multi-Attribute Utility Models: A Review of Field and Field-Like Studies, *Management Science*, 20, 10, 1393—1402 (June 1974); Hu-

- ber G. P., Methods for Quantifying Subjective Probabilities and Multi-Attribute Utilities, *Decision Sciences*, 5, 430—458 (July 1974).
35. Magee J. F., How to Use Decision Trees in Capital Investments, *Harvard Business Review*, 79—96 (September—October 1964).
  36. Klahr D., Decision Making in a Complex Environment: The Use of Similarity Judgements to Predict Preferences, *Management Science*, 15, 11, 595—618 (July 1969).
  37. Miller J. R. III, Professional Decision-Making, New York, Praeger, 1970.
  38. Klee A. J., The Role of Decision Models in the Evaluation of Competing Environmental Health Alternatives, *Management Science*, 18, 2, B-52—B-67 (October 1971).
  39. «Иерархия критериев» — это термин, которым пользуется Дж. Р. Миллер III для того, чтобы описать дерево решений. Д. Клар употребляет термин «внешняя среда решения».
  40. Janch L. R., Glueck W. F., Evaluation of University Professors Research Performance, *Management Science*, 22, 1, 66—75 (September 1975).
  41. См. п. 37.
  42. Более подробно о дельфийском методе см. гл. 16 данной книги.
  43. Bridgman P. W., Dimensional Analysis, New Haven, Conn., Yale University Press, 1922.
  44. Epstein L. T., A Proposed Measure for Determining the Value of a Design, *Operations Research*, 5, 297—299 (1957).
  45. Churchman C. W., Ackoff R. L., An Approximate Measure of Value, *Operations Research*, 2, 172—180 (1954).
  46. Ackoff R. L., Scientific Method, Optimizing Applied Research Decisions, New York, Wiley, 1962, p. 87.
  47. Kendall M. G., Ranks and Measures, *Biometrika*, 49, 1 and 2, 137 (1962).
  48. Kendall M. G., Rank Correlation Methods (3rd ed.), London, Griffin, 1962, p. 125 [Имеется перевод: Кендэл М. Дж. Ранговые корреляции. — М.: Статистика, 1975.]
  49. Kazanowski A. D., A Standardized Approach to Cost-Effectiveness Evaluations, in J. M. English (ed.), Cost-Effectiveness: Economic Evaluation of Engineered Systems, New York, Wiley, 1968, pp. 140—144, 156.
  50. Shepard R. N., On Subjectively Optimum Selections Among Multi-Attribute Alternatives, in Shelley M. W., Bryan G. L. (eds.), Human Judgment and Optimality, New York, Wiley, 1964, pp. 257—281.
  51. Shepard R. N., The Analysis of Proximities: Multidimensional Scaling with an Unknown Distance Functions, *Psychometrika*, 27, 125—140, 219—264 (1962).
  52. Kruskal J. B., Multidimensional Scaling. By Optimizing Goodness of Fit to a Non-Metric Hypothesis, *Psychometrika*, 29, 1—27 (1964).
  53. Kruskal J. B., Non-Metric Multidimensional Scaling: A Numerical Method, *Psychometrika*, 29, 28—42 (1964).
  54. Srinivasan V., Schocker A. D., Estimating the Weights for Multiple Attributes in a Composite Criterion using Pairwise Judgment, *Psychometrika*, 38, 4, 473—493 (December 1973); Srinivasan V., Schocker A. D., Weinstein A. G., Measurement of a Composite Criterion of Managerial Success, *Organizational Behaviour and Human Performance*, 9, 147—167 (1973).
  55. Kruskal J. B., Carmone F., How to Use M-D-Scal (Version 5M) and Other Useful Information, October 1969. Машинная программа может быть приобретена у координатора машинных программ.
  56. См. п. 36, с. 617.
  57. Green P. E., Carmone F. J. Marketing Research Applications of Non-Metric Scaling Methods, *Operational Research Quarterly*, Special Conference Issue, 21, 73—96 (June 1970).
  58. Green P. E., Wind Y., Multiattribute Decisions in Marketing, New York, Dryden Press, 1973.



59. Winkler R. L., The Quantification of Judgment: Some Methodological Suggestions, *Journal of the American Statistical Association*, **62**, 1105—1120 (1967).
60. Winkler R. L., The Quantification of Judgment: Some Experimental Results, *Proceedings of the American Statistical Association*, 1967, pp. 386—395.
61. Winkler R. L., Probabilistic Prediction: Some Experimental Results, *Journal of the American Statistical Association*, **66**, 336, 675—685 (December 1971).
62. Winkler R. L., The Consensus of Subjective Probability Distributions, *Management Science*, **15**, 2, B-61 — B-75 (October 1968).
63. Scherer F. M., Government Research and Development Programs, in Dorfman R. (ed.), *Measuring Benefits of Government Investments*, Washington, D. C., Brookings Institution, 1965, p. 31.
64. Smith L. H., Ranking Procedures and Subjective Probability Distributions, *Management Science*, **14**, 4, B-236 — B-249 (December 1967).
65. Winkler R. L., Probabilistic Prediction, Some Experimental Results, p. 675.
66. Slovic P., MacPhillamy D., Dimensional Commensurability and Cue Utilization in Comparative Judgment, *Organizational Behavior and Human Performance*, **11**, 172—194 (1974).
67. Turban E., Metersky M. L., Utility Theory Applied to Multivariate System Effectiveness Evaluation, *Management Science*, **17**, 12, B-820 (August 1971).
68. Pickhardt R. C., Wallace J. B., A Study of the Performance of Subjective Probability Assessors, *Decision Sciences*, **5**, 347—363 (July 1974).
69. Yutaka Sayeki, Vesper K. H., Allocation of Importance in a Hierarchical Goal Structure, *Management Science*, **19**, 6, 667—675 (February 1973).
70. Keeney R. L., A Group Preference Axiomatization with Cardinal Utility, *Management Science*, **23**, 2, 140—145 (October 1976).
71. Klee A. J., The Role of Decision Models in the Evaluation of Completing Environment Health Alternatives, *Management Science*, **18**, 2, B-52 — B-67 (October 1971); Klee A. J., The Utilization of Expert Opinion in Decision Making, *American Institute of Chemical Engineers Journal*, **18**, 6, 1107—1115 (November 1972); Klee A. J., Models for Evaluation of Hazardous Wastes, *Journal of the Environmental Engineering Division*, American Society of Civil Engineers, **102**, 331 (February 1976); Tauss K. H., A Pragmatic Approach to Evaluating R&D Programs, *Research Management*, **13**—15 (September 1975).
72. Этот пример является существенным упрощением примера, приведенного в работе Giottonini J., Koehler P., Site Selection Analysis, B. A. 280 Project, School of Business and Public Administration, California State University at Sacramento, June 1974.
73. Battelle Columbus Laboratories, Environmental Evaluation System for Water Resources Planning, Prepared for the Bureau of Reclamation, U. S. Department of the Interior, Columbus, Ohio, Battelle Memorial Laboratories, January 1972.
74. Van Gigch J. P., The Physical and Mental Load Components of Objective Complexity in Production Systems, *Behavioral Science*, **21**, 6, 490—498 (November 1976).
75. Van Gigch J. P., Experience with the Modified Delphi Method Applied to a Faculty Evaluation Procedure, Sacramento, Calif., School of Business and Public Administration, California State University.
76. Этот раздел взят из работы [73]. Приводится с разрешения.
77. Там же.
78. The Technical Committee et al., Water Resources Research Centers of the Thirteen Western States, Water Resources Planning, Social Goals, and Indicators: Methodological Development and Empirical Test. Prepared for

- the Office of Water Resources Research, U. S. Department of the Interior, Logan, Utah Water Research Laboratory, December 1974.
79. Там же, с. 79.
  80. Dooley J. E., Decision Social and Technological Tasks incorporating Expression of Preference and Environmental Insult, *Management Science*, **20**, 6, 912—920 (February 1974).
  81. Mantel S. J. et al., A Social Service Measurement Model, *Operations Research*, **23**, 2, 218—239 (March—April 1975).
  82. Cohon J. L., Marks D. H., A Review and Evaluation of Multiobjective Programming Techniques, *Water Resources Research*, **11**, 2, 208—220 (April 1975).
  83. Duckstein L., Dávid László, Multi-Criterion Ranking of Alternative Long Range Water Resource Systems, *Water Resources Bulletin*, **12**, 4, 731—754 (August 1976).
  84. Chaemsathong K., Duckstein L., Kisiel C., Alternative Water Resource Systems in the Lower Mekong, *Journal of the Hydraulics Division*, American Society of Civil Engineers, **100**, HY3, 461—475 (March 1974); Hinman G., Millham C. B., The Optimal Location of Nuclear-Power Facilities in the Pacific Northwest, *Operations Research*, **22**, 3, 478—487 (May—June 1974); Kisiel C., Duckstein L., Economics of Hydrologic Modeling, A Cost Effectiveness Approach, Proceedings of the International Symposium on Modeling of Water Resources Systems, Ottawa, Canada, May 1972, pp. 319—330; Ko S. C., Duckstein L., Cost-Effectiveness Analysis of Wastewater Reuses, *Journal of the Sanitary Engineering Division*, American Society of Civil Engineers, **98**, SAG, 869—991 (December 1972); Popovich M., Duckstein L., Kisiel C., A Cost-Effectiveness Analysis of Municipal Refuse Disposal Systems, *Journal of the Environmental Engineering Division*, American Society of Civil Engineers, **99**, 577—591 (October 1973). Я приношу глубокую благодарность проф. Дакштейну за исключительно ценную информацию, сообщенную мне в личной беседе.
  85. Charnes A., Cooper W. W., Management Models and Industrial Applications of Linear Programming (Vol. 1), New York, Wiley, 1961.
  86. См. п. 82, с. 213—214.
  87. Dyer J. S., Interactive Goal Programming, *Management Science*, **19**, 1, 62—70 (September 1972); Geoffrion A. M., Dyer J. S., Feinberg A., An Interaction Approach for Multi-Criterion Optimization, with an Application to the Operation of an Academic Department, *Management Science*, **19**, 4, 357—368 (December 1972).
  88. Wallenius J., Comparative Evaluation of Some Interactive Approaches to Multicriterion Optimization, *Management Science*, **21**, 12, 1387—1396 (August 1975); Zionts S., Wallenius J., An Interactive Programming Method for Solving the Multiple Criteria Problem, *Management Science*, **22**, 6, 652—663 (February 1976).
  89. Zeleny M., The Theory of the Displaced Ideal, in Zeleny M. (ed.), Multiple Criteria Decision Making, Kyoto 1975, New York, Springer-Verlag, 1976; Zeleny M., The Attribute-Dynamic Attitude Model (ADAM), *Management Science*, **23**, 1, 12—26 (September 1976); Starr M. K., Zeleny M. (Eds.), Multiple Criteria Decision Making, Amsterdam, North Holland, 1977.
  90. Chenery H. B., Watanabe T., International Comparisons of the Structure of Production, *Econometrica*, **26**, 4, 487—521 (October 1958).
  91. Simpson D., Tsukui J., The Fundamental Structure of I/O Tables: An International Comparison, *Review of Economics and Statistics*, **47**, 434—443 (1965).
  92. Chiou-Shuang Yan, Introduction to Input-Output Economics, New York, Holt, Rinehart and Winston, 1969, ch. 7.
  93. Chenery H. B., Clark P. G., Interindustry Economics, New York, Wiley, 1959.

94. Hubbell J. P., Ekey D. C., The Application of Input-Output Theory to Industrial Planning and Forecasting, *Journal of Industrial Engineering*, **14**, 49—56 (January—February 1963).
95. Smith S. B., An Input-Output Model for Production and Inventory Planning, *Journal of Industrial Engineering*, **16**, 64—69 (January—February 1965).
96. Johnson R. A., Newell W. T., Vergin R. C., *Operations Management*, A Systems Concept, Boston, Houghton, Mifflin, 1972, ch. 13.
97. Forrester J. W., *Industrial Dynamics*, Cambridge, Mass., M. I. T. Press, 1961. [Имеется перевод: Форрестер Дж. Основы кибернетики предприятия. — М.: Прогресс, 1971.]
98. Pugh A. L III, *DYNAMO Users Manual*, Cambridge, Mass., M. I. T. Press, 1976.
99. McMillan C., Gonzalez R. F., *Systems Analysis, A Computer Approach to Decision Models* (rev. ed.). Homewood, Ill, Irwin, 1968, p. 447.
100. Forrester J. W., Industrial Dynamics, After the First Decade, *Management Science*, **14**, 7, 408 (March 1968).
101. Ansoff H. I., Slevin D. P., An Appreciation of Industrial Dynamics, *Management Science*, **14**, 7, 395 (March 1968).
102. См. п. 100, с. 406.
103. Forrester J. W., *Urban Dynamics*, Cambridge, Mass., M. I. T. Press, 1969. [Имеется перевод: Форрестер Дж. Динамика развития города. — М.: Прогресс, 1974.]
104. Forrester J. W., *World Dynamics*, Cambridge, Mass., Wright-Allen, 1971. [Имеется перевод: Мировая динамика. — М.: Наука, 1978.]
105. Le Vasseur P., A Study of Inter-Relationships between Education, Manpower and Economy, *Socio-Economic Planning Sciences*, **2**, 269—295 (April 1969).
106. Greenberger M., Crenson M. A., Crissey B. L., *Models in the Policy Process*, New York, Russel Sage Foundation, 1976.
107. *System Dynamic Publications*, Wright-Allen Press, Cambridge, Mass., 02142.

#### Введение

Модели принятия решений, рассмотренные в предыдущей главе, позволяют сравнивать входы и выходы модели. Так, мы сравнивали затраты с эффективностью; капитал с себестоимостью; вложенные деньги с накоплением, прибыль с издержками и т. д. Модели, которым посвящена эта глава, тоже дают возможность найти некоторую меру, с помощью которой удастся оценивать сам процесс преобразования входы-выходы. Однако модели, описанные в данной главе, несколько отличаются от предыдущих тем, что для решения конкретных задач здесь требуется алгоритм. Напомним, что в гл. 9 мы сравнивали алгоритмы с эвристиками. Было отмечено, что эвристики позволяют найти пошаговое решение, которое сходится к осуществимому и приемлемому решению, доказать оптимальность которого нельзя. Что касается алгоритма, то он может сходиться к оптимальному решению, доказательство чего и является составной частью самого решения.

Нам могут возразить, что, строго говоря, модели нахождения зависимостей затраты — эффективность, прибыль — издержки, вход-выход тоже содержат некоторый алгоритм. Мы этого отнюдь не отрицаем, но утверждаем, что модели оптимизации — это больше, чем просто процесс сходимости в терминах входа-выхода; эти модели включают описание всех систем, являющихся составными частями системы в целом. Такие модели не обладают большой степенью общности, но возможности их очень высоки. Они приложимы к специфическим процессам, которые описываются в теории очередей, теории сетей и перевозок и др. (подробнее см. в гл. 14).

#### Оптимизация

В повседневной жизни под словом «оптимизация» мы понимаем процесс последовательного улучшения до тех пор, пока не будет достигнуто «наилучшее». Если не принимать во внимание ограничений, мы всегда стремимся достичь «самого лучшего». Мы начнем обсуждение с простых моделей оптимизации,

а затем перейдем к более сложным. Вопрос о том, почему в большинстве случаев оптимума достичь невозможно и мы удовлетворяемся наилучшим из возможных результатов, будет рассмотрен в следующих двух главах.

## Максимум и минимум

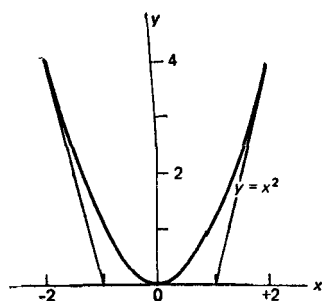
Нам представляется целесообразным дать описание того, как находят максимум и минимум методами дифференциального исчисления; это поможет нам при обсуждении некоторых положений. Читателю, не имеющему математической подготовки, придется следить за ходом наших рассуждений. Для понимания остальных разделов главы знания дифференциального исчисления не потребуется. Тем, кто захочет вспомнить указанный раздел анализа, мы рекомендуем обратиться к работам [1, 2].

**Пример 1.** *Нахождение экстремальных точек.* На рис. 12.1 представлен график функции  $y = x^2$ , а на рис. 12.2 — график функции  $y = -x^2 + 4$ . В обоих случаях касательные к кривым проводятся для трех значений  $x$ : при  $x = -2, 0$  и  $+2$ . Представляемая функция  $y = x^2$  достигает минимума в точке  $x = 0$ .

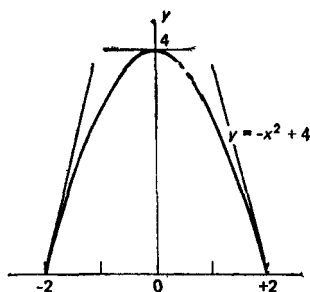
Касательная в точке  $x = 0$  горизонтальна, и угол ее наклона равен нулю. Когда функция имеет максимум, угол наклона касательной в точке максимума тоже равен нулю. Различие между этими двумя случаями состоит в следующем. Для достижения минимума значение угла наклона сначала отрицательное, с ростом значения  $x$  угол наклона уменьшается, проходит через нуль и с дальнейшим увеличением  $x$  возрастает, оставаясь положительным. В случае максимума угол наклона касательной сначала положительный при больших отрицательных значениях  $x$ . Этот угол наклона касательной в точке  $x = 0$  станет равным нулю (касательная горизонтальна), а затем возрастает с отрицательным знаком по мере увеличения  $x$ . Таким образом, при возрастании  $x$  от  $-\infty$  до  $+\infty$  для случая минимума угол наклона касательной непрерывно возрастает, в то время как для случая максимума он непрерывно убывает.

Теперь, когда мы имеем геометрическое понимание минимума и максимума, можем обратиться к дифференциальному исчислению, которое предлагает изящный метод нахождения этих критических точек. Пусть дана функция  $y = f(x)$ , первая производная которой есть  $y' = dy/dx$ , а вторая —  $y'' = d^2y/dx^2$ .

Первая производная даст значение угла наклона касательной в точке  $x$ . Вторая производная показывает, что максимум или минимум находится в точке, где первая производная равна нулю (т. е. касательная горизонтальна). В случае минимума: вторая производная положительна — угол наклона касательной



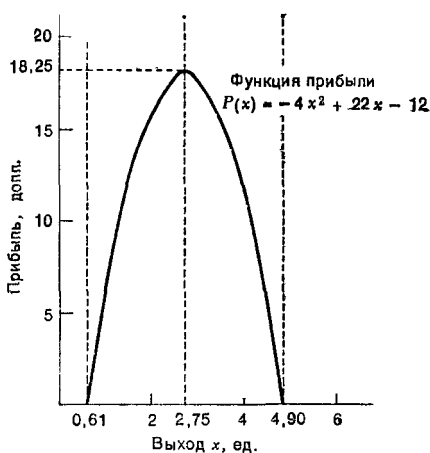
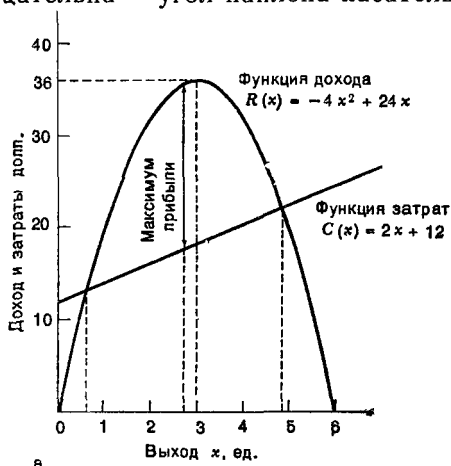
| Переменная | Функция   | Первая производная   | Вторая производная        |
|------------|-----------|----------------------|---------------------------|
| $x$        | $y = x^2$ | $y' = \frac{dy}{dx}$ | $y'' = \frac{d^2y}{dx^2}$ |
| -2         | 4         | -4                   | 2                         |
| -1         | 1         | -2                   | 2                         |
| 0          | 0         | 0                    | 2                         |
| +1         | 1         | 2                    | 2                         |
| +2         | 4         | 4                    | 2                         |

 Рис. 12.1. Функция  $y = x^2$ .


| Переменная | Функция        | Первая производная   | Вторая производная        |
|------------|----------------|----------------------|---------------------------|
| $x$        | $y = -x^2 + 4$ | $y' = \frac{dy}{dx}$ | $y'' = \frac{d^2y}{dx^2}$ |
| -2         | 0              | 4                    | -2                        |
| -1         | +3             | 2                    | -2                        |
| 0          | 4              | 0                    | -2                        |
| +1         | +3             | -2                   | -2                        |
| +2         | 0              | -4                   | -2                        |

 Рис. 12.2. Функция  $y = -x^2 + 4$ .

возрастает. Для случая максимума: вторая производная отрицательна — угол наклона касательной уменьшается.



б

Рис. 123. а — функции дохода и затрат, б — функция прибыли.

В случае таких простых функций, какие были разобраны выше, оптимизировать означает найти экстремальные точки. Если бы функция  $y = x^2$  представляла функцию стоимости,

В таблицах, приведенных на рис. 12.1 и 12.2, даны значения первой и второй производных для функций  $y = x^2$  и  $y = -x^2 + 4$  соответственно.

Для функции  $y = x^2$  первая производная есть  $y' = dy/dx = 2x$ , а вторая  $y'' = d^2y/dx^2 = 2$ . В точке  $x = 0$  выполняются равенства  $y' = 0$ , а  $y'' = 2$ , т. е. имеем минимум.

Для функции  $y = -x^2 + 4$  первая производная  $y' = dy/dx = -2x$ , а вторая производная  $y'' = d^2y/dx^2 = -2$ . В точке  $x = 0$  значения производных равны  $y' = 0$  и  $y'' = -2$ , т. е. функция имеет максимум.

Сформулируем кратко изложенное: необходимым и достаточным условием наличия минимума (максимума) в точке  $x$  для некоторой непрерывной функции  $y = f(x)$  является то, что в этой точке должна существовать первая производная и ее значение должно быть равно нулю, а вторая производная также должна существовать в этой точке и должна быть положительна (отрицательна)<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Сформулированные автором условия справедливы для функций, имеющих вторую производную, не равную нулю в точке экстремума. В более общем случае необходимо рассмотрение производных высших порядков. — Прим. ред.

то ее оптимизация означала бы минимизацию, или нахождение значения переменной  $x$ , при котором функция принимала бы наименьшее значение. Для нашего примера наименьшее значение функции ( $y = 0$ ) находится в точке  $x = 0$ . Функция  $y = -x^2 + 4$  могла бы представлять, например, функцию годового дохода и оптимизировать в этом случае — значит найти такую точку, в которой функция достигает максимума. Это произойдет в точке  $x = 0$ , где  $y = 4$ .

**Пример 2. Оптимизация прибыли.** Перед любым руководителем периодически встает задача: найти такое соотношение на выходе процесса управления, которое оптимизировало бы прибыль. Предположим, что функции дохода и затрат заданы следующими выражениями (рис. 12.3,а):

$$\text{Функция дохода } R(x) = -4x^2 + 24x,$$

$$\text{Функция затрат } C(x) = 2x + 12.$$

**Решение.** Прежде всего напомним выражение для функции прибыли:

$$\text{Функция прибыли: } P(x) = R(x) - C(x) = -4x^2 + 24x - (2x + 12) = -4x^2 + 22x - 12.$$

Как было указано выше, точка, в которой функция будет иметь максимум, может быть найдена как точка, в которой первая производная равна нулю<sup>1)</sup>.

Первая производная функции прибыли есть

$$\frac{dP(x)}{dx} = -8x + 22.$$

Положив ее равной нулю, имеем

$$-8x + 22 = 0.$$

Тогда значение переменной  $x$ , где функция  $dP(x)/dx = 0$ , равно  $x = 22/8$ .

<sup>1)</sup> Приведем простые правила дифференцирования:

| Функция | Первая производная |
|---------|--------------------|
| $x^b$   | $bx^{b-1}$         |
| $ax$    | $a$                |
| const   | 0                  |
| $1/Q$   | $-1/Q^2$           |

Чтобы получить вторую производную, следует продифференцировать первую.



Определим значение функции в точке максимума:

$$P(x) = -4\left(\frac{22}{8}\right)^2 + 22\left(\frac{22}{8}\right) - 12 = 18,25.$$

Для того чтобы проверить, действительно ли это максимум, найдем значение второй производной:

$$\frac{d^2P}{dx^2} = -8.$$

Поскольку она остается отрицательной для всех значений  $x$ , ясно, что мы получили максимум.

Можно проверить общеизвестное экономическое правило, утверждающее, что максимальная прибыль получается тогда, когда маргинальные затраты равняются маргинальным доходам.

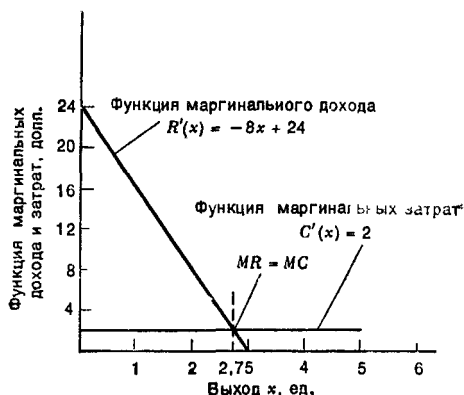


Рис. 12.4. Нахождение точки максимальной прибыли.

Функция маргинальных затрат есть первая производная от функции общих затрат и имеет вид  $dC(x)/dx=2$ . А функция маргинального дохода есть первая производная от функции общего дохода  $R(x)$ , имеющей вид

$$R(x) = -4x^2 + 24x.$$

Функция маргинального дохода задается выражением

$$\frac{dR(x)}{dx} = -8x + 24.$$

Приравняем две функции маргинальных значений:

$$MR = MC \quad -8x + 24 = 2,$$

или, как мы уже получили выше,

$$x = 22/8.$$

На рис. 12.4 показаны графики этих двух функций.

**Пример 3.** Модель учета материально-производственных запасов. Как было показано в гл. 6, при рассмотрении компро-

миссов часто возникает задача расчета экономически выгодного объема заказа, т. е. нахождения размера заказа, при котором будет достигнуто оптимальное значение затрат на закупку, оформление заказа и хранение материально-производственных запасов. Чтобы проиллюстрировать решение этой задачи, предположим, что приводимые ниже данные относятся к описываемой модели на случай закупки материала одного типа в условиях определенности <sup>1)</sup>. Введем обозначения и соотношения:

|                                                |                                      |
|------------------------------------------------|--------------------------------------|
| $D$ (годовая потребность в изделии)            | 3600 ед./год                         |
| $c$ (закупочная цена без скидки на количество) | 1 долл./ед.                          |
| $S$ (стоимость оформления заказа)              | 10 долл./заказ                       |
| $I$ (цена капитала)                            | 10 процентов годовых                 |
| $Q$ (объем заказа)                             | Число изделий, входящих в один заказ |

Общие затраты на материально-производственные запасы и их хранение = Затраты на закупку изделий + Затраты на оформление заказов + Затраты на хранение заказов, (1)

Затраты на закупку изделий = Годовая потребность  $\times$  Закупочная цена одного изделия =  $D \cdot c$ ,

Затраты на оформление заказов = Число заказов  $\times$  Стоимость оформления одного заказа =  $(D/Q)S$ ,

Затраты на хранение заказов = Стоимость среднего заказа  $\times$  Цена капитала =  $(Q/2) \cdot c \cdot I$ .

В табл. 12.1 приведены затраты для пяти различных случаев возможного объема заказа (от 3600 до 225 единиц на заказ).

Таблица 12.1

Табличная форма модели учета материально-производственных запасов

| Число изделий в одном заказе, ед | Средний заказ, ед | Число заказов/год, ед | Затраты на закупку изделий, долл. | Затраты на оформление заказов, долл. | Стоимость среднего заказа, долл. | Затраты на хранение (цена капитала), долл. | Полные затраты на материально-производственные запасы и их хранение, долл. |
|----------------------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| 1                                | 2                 | 3                     | 4                                 | 5                                    | 6                                | 7                                          | 8                                                                          |
| 3600                             | 1800              | 1                     | 3600                              | 10                                   | 1800                             | 180                                        | 3790                                                                       |
| 1800                             | 900               | 2                     | 3600                              | 20                                   | 900                              | 90                                         | 3710                                                                       |
| 900                              | 450               | 4                     | 3600                              | 40                                   | 450                              | 45                                         | 3685                                                                       |
| 450                              | 225               | 8                     | 3600                              | 80                                   | 225                              | 22,5                                       | 3703                                                                       |
| 225                              | 112,5             | 16                    | 3600                              | 160                                  | 112,5                            | 11,3                                       | 3771                                                                       |

<sup>1)</sup> То есть при точном значении всех параметров, характеризующих рассматриваемый случай. — *Прим. ред.*

При условии, что потребность не изменяется по времени, средний заказ можно рассматривать как половину максимального заказа, как это показано в столбце 2 табл. 12.1. Столбец 3 содержит число заказов в год, которые необходимо оформить для удовлетворения годовой потребности в необходимых изделиях. Закупочная цена на изделия не зависит от объема заказа; как было указано, скидки на объем партии в данном примере не допускаются. Поэтому затраты в год составляют 3600 долл. для всех пяти случаев. Затраты по оформлению заказов равны 10, 20, 40, 80 и 160 долл. соответственно для каждого случая.

Стоимость среднего заказа (столбец 6) очевидна. В столбце 7 показана так называемая цена капитала, расходуемая на хранение материалов. Это стоимость того, что капитал — в форме запасов — лежит на складах, а не приносит прибыль 10 процентов годовых. И наконец, в последний столбец включены суммы столбцов 4, 5 и 7 под названием «Полные затраты на материально-производственные запасы и их хранение». Для заказа объемом 900 единиц общие затраты будут минимальными и равными 3685 долл.

На рис. 12.5 показана модель учета запасов изделий при постоянном спросе на них в условиях определенности.

На рис. 12.6 приведены графики трех функций затрат при возможности подбора компромиссных значений затрат на оформление заказа и на хранение (или перевозку) изделий (гл. 6). При принятии решения об объеме заказа затраты на закупку изделий не играют роли. Для более сложных задач нахождения минимума табличная модель решения мало подходит. Для этого случая математика предлагает нам элегантные методы нахождения экономически выгодного размера заказа, который оптимизирует полные затраты (в данном случае минимизирует их).

Уравнение (1) может быть записано в следующем виде с помощью введенных нами символьных обозначений:

$$TC = D \cdot c + \frac{D}{Q} \cdot S + \frac{Q}{2} \cdot c \cdot I. \quad (2)$$

Для нахождения минимума продифференцируем каждый член этого уравнения <sup>1)</sup>:

$$\frac{dTC}{dQ} = 0 - \frac{D \cdot S}{Q^2} + \frac{c \cdot I}{2}. \quad (3)$$

Положив первую производную равной нулю, найдем минимум.

<sup>1)</sup> Обратимся к правилам дифференцирования (см. предыдущую ссылку). Так,  $D \cdot c$  не является функцией  $Q$  — это константа, производная которой равна нулю. Выражение  $(D/Q) \cdot S$  имеет форму  $a \cdot (-1/Q^2)$ . Выражение  $(Q/2) \cdot c \cdot I$  имеет форму  $a \cdot Q$  с производной, равной  $a$ .

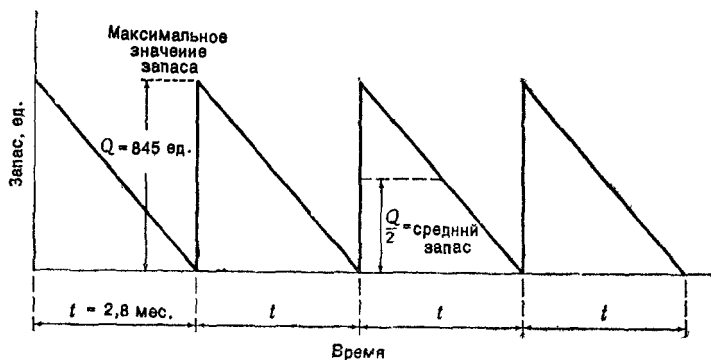


Рис. 12.5. Модель учета запасов изделий при постоянном спросе на них и неизменяющемся темпе производства в условиях определенности.

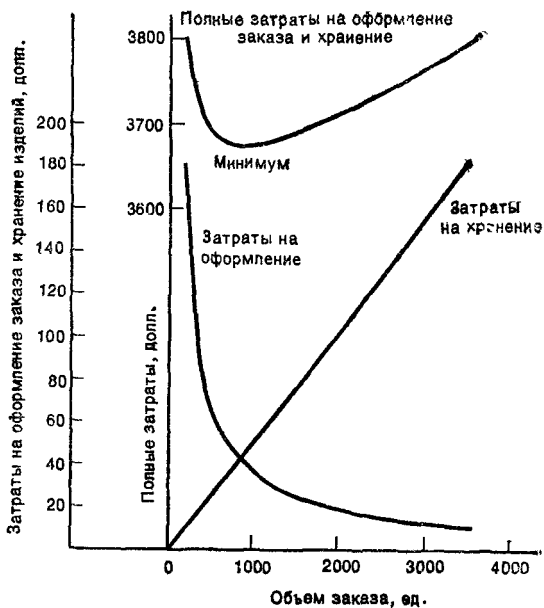


Рис. 12.6. Минимизация полных затрат на оформление заказов и хранение изделий (затраты на закупку изделий здесь не показаны).

Вторая производная рассматриваемой функции везде положительна для положительных значений  $Q$ , а следовательно, мы имеем минимум.

$$-\frac{D \cdot S}{Q^2} + \frac{c \cdot I}{2} = 0. \quad (4)$$

Решая уравнение (4) относительно  $Q$ , имеем

$$Q^* = \sqrt{\frac{2DS}{cI}}. \quad (5)$$

Здесь  $Q^*$  есть конкретное значение экономически выгодного размера заказа. Если мы подставим числовые значения символов, используемые в нашей задаче, то получим, что  $Q^* = 8,45 \cdot 10^2 = 845$  единиц. Напомним, что для табличной модели ответ составил  $\sim 900$  ед. Аналитически мы получили, что объем заказа  $Q$ , равный 845 ед., позволяет выбрать точку, где затраты на оформление равны затратам на хранение и где величина полных затрат оказывается немного меньше 3685 долл. (величины полных затрат при  $Q = 900$  ед.). В конечном итоге возможно заказывать по 845 изделий в одном заказе и в результате этого в среднем оформить немного больше, чем четыре заказа в год. Если период планирования равен только одному году, следует округлить  $Q$  до 900 ед. для того, чтобы получилось ровно четыре заказа для удовлетворения потребности в 3600 изделиях.

**Пример 4. Модель линейного программирования для максимизации меры эффективности.**

**ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ**<sup>1)</sup>. Фонды, отводимые штатами и федеральным правительством на приобретение земель для создания мест отдыха населения, ограничены. Поэтому дополнительные закупки должны планироваться так, чтобы оптимально использовать имеющиеся средства с учетом спроса и предложения на земельные участки. В упрощенном варианте задачи возможно приобретение только двух типов земельных участков: территорий под городские парки и для лесных заповедников. Изучение спроса показывает, что требуется 1500 акров<sup>2)</sup> под городские парки и 3000 акров под заповедники. Изучение предложения приводит к следующим данным: имеется 1200 акров земель, которые можно использовать под городские парки по средней цене 4000 долл./акр и 5000 акров земель под заповедники по средней цене 1500 долл./акр.

<sup>1)</sup> Meier R. C., Programming of Recreational Land Acquisition, *Socio-Economic Planning Sciences*, 2, 15–24 (October 1968). (С разрешения автора)

<sup>2)</sup> 1 акр = 0,4 га. — *Прим. ред.*

На закупки земельных участков ассигновано 6 млн. долл.  
**ФОРМУЛИРОВКА ЗАДАЧИ.** Указанные выше данные по спросу, ценам на предлагаемые земли и имеющиеся в наличии средства можно записать в виде следующих неравенств:

$$\begin{array}{ll} \text{Бюджетные ограничения} & 4000X_1 + 1500X_2 \leq 6\,000\,000 \\ \text{Ограничения по спросу} & X_1 \leq 1500 \\ & X_2 \leq 3000 \\ \text{Ограничения по предложению} & X_1 \leq 1200 \\ & X_2 \leq 5000 \end{array}$$

где  $X_1$  обозначает площадь городских парковых земель (в акрах), которые надо приобрести под парки, а  $X_2$  — площадь земель (в акрах), которые следует приобрести под заповедники.  
**ЦЕЛЕВАЯ ФУНКЦИЯ.** «Предположим, что в соответствии с мнением специалистов один акр городских земель следует считать в четыре раза ценнее с точки зрения отдыха, чем один акр лесных земель. Пусть «индекс отдыха» городских земель под парки равен 100, а земель под заповедники 25» [3]. Тогда с точки зрения математики наша цель заключается в максимизации «индекса отдыха»  $Z$  при условии, что

$$Z = 100X_1 + 25X_2.$$

**РЕШЕНИЕ.** Поскольку имеется только две переменные  $X_1$  и  $X_2$ , задачу можно решить графически. Во-первых, заметим, что не обязательно учитывать все неравенства, так как одни из них сильнее других. В этом случае  $X_1 \leq 1200$  более лимитирующее условие, чем  $X_1 \leq 1500$ , а  $X_2 \leq 3000$  сильнее, чем  $X_2 \leq 5000$ . На рис. 12.7 показаны кривые, ограничивающие область возможных решений. Оптимальное решение в точке  $X_1 = 1200$ ,  $X_2 = 800$  дает максимальное значение «индекса отдыха» ( $Z = 140\,000$ ).

**Пример 5. Сетевой график. Модель: планирование критического пути.** Для нахождения критического пути в некоторой сети необходимо использовать алгоритм.

Метод критического пути, называемый также планированием критического пути, или его вероятностный вариант ПЕРТ (PERT — Program Evaluation Review Technique) — Система планирования и руководства разработками пришел на смену использовавшейся в прошлом диаграмме Ганта.

Новый метод показывает взаимозависимости составных частей сложного проекта и позволяет ЛПР выявлять те работы, где нет простоев и отставаний. Когда возникают неполадки в этих работах, то нарушение сроков их выполнения означает угрозу срыва всего проекта.

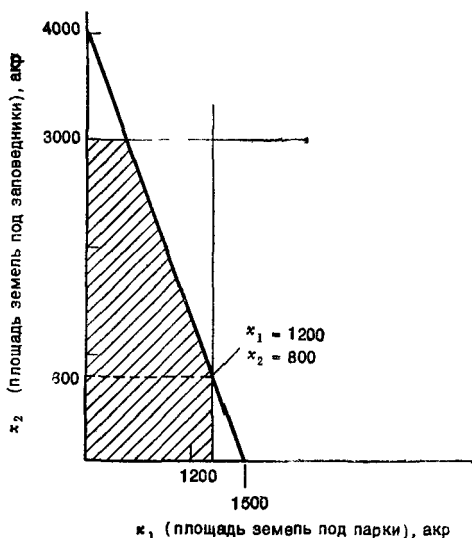


Рис. 127. Максимизация площади закупаемых рекреационных земель по методу линейного программирования.

Пусть заданы работы в некотором проекте, их взаимозависимости и продолжительность. Требуется найти такую последовательность работ в сети, которая потребует наибольшего времени на свое выполнение, т. е. найти критический путь. Алгоритм реализуется в модели сетевого графика, которая рассчитывает следующее:

1.  $ES$  — самое раннее время, когда работа может быть начата.

2.  $EF$  — самое раннее время, когда работа может быть завершена.  $EF = ES + d$  (где  $d$  — продолжительность выполнения работы).

3.  $LF$  — самое позднее время, к которому работа может быть завершена без угрозы срыва плана и срока окончания всего проекта. Самое позднее время окончания последней работы в сети может совпадать с плановой датой завершения всего проекта.

4.  $LS$  — самое позднее время, когда работа может быть начата без угрозы нарушения временного графика завершения всего проекта.  $LS = LF - d$ , где  $d$  — продолжительность выполнения работы.

5.  $TF$  — суммарное время задержек и проволочек, т. е. запаздывания по графику или отклонения от расписания, которые задерживают ход выполнения работ без угрозы невыполнения проекта в намеченный срок.

$$TF = LF - EF = LS - ES.$$

Суммарные запаздывания в ходе работ могут рассматриваться как мера эффективности модели. Алгоритм позволяет выявлять те работы, для которых  $TF$  минимально или равно нулю, а следовательно, те работы, которые находятся на критическом пути.

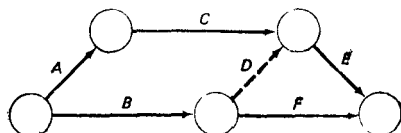


Рис. 12.8 Сетевой график проекта.

При проектировании больших систем наиболее успешно используются три названных нами метода. Они обеспечивают следующее:

1. Возможность разработки больших проектов, при планировании, проектировании и реализации которых особенно важна взаимозависимость между работами.

2. Повышение эффективности проектирования за счет того, что у проектировщиков и планировщиков появляется возможность разговаривать на языке одних и тех же терминов и методов.

3. Управление временными и стоимостными параметрами. Выявление тех работ в проекте, которые должны быть ускорены, или тех, которые можно немного задержать. Связанное с этим перераспределение ресурсов делает использование средств и ресурсов более эффективным.

Таблица 12.2

Продолжительность работ и затраты на разработку проекта в сетевом представлении

| Работа | Наибольшая продолжительность, наименьшие затраты |                | Нормальные продолжительность и затраты |                | Наименьшая продолжительность, наибольшие затраты |                |
|--------|--------------------------------------------------|----------------|----------------------------------------|----------------|--------------------------------------------------|----------------|
|        | Количество недель                                | Затраты, долл. | Количество недель                      | Затраты, долл. | Количество недель                                | Затраты, долл. |
| A      | 4                                                | 300            | 4                                      | 300            | 4                                                | 300            |
| B      | 10                                               | 1000           | 9                                      | 1200           | 8                                                | 1400           |
| C      | 3                                                | 200            | 3                                      | 200            | 3                                                | 200            |
| E      | 8                                                | 600            | 7                                      | 700            | 6                                                | 800            |
| F      | 6                                                | 500            | 5                                      | 550            | 4                                                | 600            |
|        |                                                  | <u>2600</u>    |                                        | <u>2950</u>    |                                                  | <u>3300</u>    |



**ПРИМЕНЕНИЕ.** Проиллюстрируем применение алгоритма, с помощью которого может быть найден критический путь в некоторой сети. На рис. 12.8 показан проект из пяти работ, продолжительность и затраты на которые приведены в табл. 12.2. Работа *D* называется «фиктивной», время ее выполнения равно нулю. С ее помощью устанавливается техническое требование, согласно которому работа *E* может начаться только тогда, когда будут завершены работы *B* и *C*. Работы в сети могут быть запланированы по наибольшей, нормальной и наименьшей продолжительности. Как мы уже объяснили в гл. 6, время может быть компенсировано затратами, а значит, продолжительность работ может быть сокращена за счет повышения прямых расходов. Критический путь рассчитывается вначале для работ с наибольшей продолжительностью и наименьшими затратами. Начиная слева направо, можно подсчитать для каждой работы в сети ее самое раннее время начала (*ES*) и самое раннее время окончания (*EF*). Эти временные значения для работ *A*, *B*, *C*, *E* и *F* приведены в табл. 12.3, где

$$EF = ES + d.$$

Таблица 12.3

Расчет критического пути для наименьших затрат на работы  
в сетевом представлении проекта

(все параметры выражены в количестве недель)

| Работа   | Продолжительность | <i>ES</i> | <i>EF</i> | <i>LS</i> | <i>LF</i> | $TF = LF - EF =$<br>$= LS - ES$ |
|----------|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------------------------|
| <i>A</i> | 4                 | 0         | 4         | 3         | 7         | 3                               |
| <i>B</i> | 10                | 0         | 10        | 0         | 10        | 0 *                             |
| <i>C</i> | 3                 | 4         | 7         | 7         | 10        | 3                               |
| <i>E</i> | 8                 | 10        | 18        | 10        | 18        | 0 *                             |
| <i>F</i> | 6                 | 10        | 16        | 12        | 18        | 2                               |

\* Критическое значение

Самое раннее время окончания работы *E* есть  $t=18$ . Если принять это время в качестве плановой даты завершения всего проекта, то самым поздним временем завершения (*LF*) для работ *E* и *F* также будет 18. Двигаясь таким образом в обратном направлении по графу, или справа налево, можно найти со-

ответствующие значения  $LS$  (самых поздних значений начала работы) для каждой работы по формуле:

$$LS = LF - d.$$

Эти значения времени показаны в табл. 12.3. Наконец, полное время  $TF$  можно получить следующим образом:

$$TF = LF - EF, \text{ или } TF = LS - ES.$$

Время суммарной задержки для работ  $B$  и  $E$  равно нулю и тогда критический путь определяется как

$$B \Rightarrow D \Rightarrow E.$$

Длина критического пути — самого длинного пути в сети — составляет 18 недель. Прямые затраты на выполнение этих работ на самом продолжительном пути равны 2600 долл. Как указывалось в гл. 6, для того чтобы минимизировать полные затраты за счет снижения косвенных затрат, требуется сократить указанные отрезки времени.

**Пример 6. Целевое программирование, позволяющее устанавливать приоритеты.** Целевое программирование является методом, в котором допускается приписывание различных весов (весовых функций) разным целям. Этот метод позволяет выразить целевую функцию традиционной задачи математического программирования таким образом, чтобы не только выявить различия в результатах выбранных вариантов, но и указать приоритеты целей, т. е. становится возможным установить предпочтительность одних целей перед другими. Рассмотрим следующую задачу<sup>1)</sup>.

Текстильная компания выпускает два типа льняных тканей: плотный обивочный материал и обычную плательную ткань. Обивочный материал производится по заказам мебельных предприятий, плательная ткань поступает в розничную торговлю. Средняя производительность оборудования по обоим типам ткани одинакова: 1000 м/ч. Предприятие работает 80 ч в неделю в две смены (за неделю производится 80 000 м одного из типов ткани или их любой комбинации). Управление сбыта компании сообщает, что на следующую неделю предполагается максимальный размер сделок на 70 000 м обивочного материала и 45 000 м плательного. По данным расчетного отдела прибыль с одного метра обивочного материала составит ~2,5 долл., а с метра плательного 1,5 долл.

<sup>1)</sup> Задача заимствована из книги Lee S. M., Moore L. J., Introduction to Decision Science, © 1975, ch. 6. (С разрешения авторов и Mason/Charter, Inc.)

### Формулировка задачи при использовании метода линейного программирования

Если допустить, что руководитель предприятия стремится только максимизировать прибыль, исходя из обычной продолжительности рабочей недели и предположительных сделок на неделю, то, решая задачу методом линейного программирования, можно ее сформулировать следующим образом.

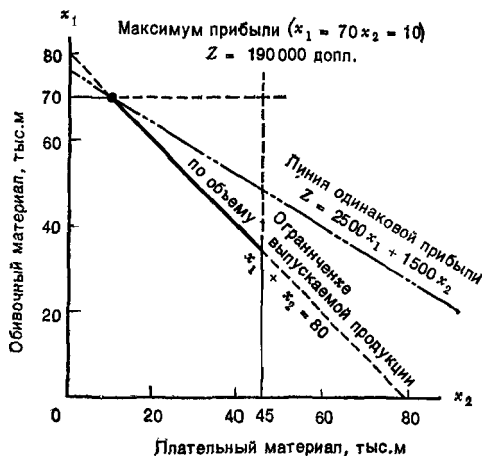


Рис. 12.9. Графическое решение задачи из примера 6 методом линейного программирования. Заимствовано из книги Lee S. M., Moor L. J., Introduction to Decision Science, © 1975, New York, ch. 6. (С разрешения авторов и Mason/Charter, Inc.)

Требуется максимизировать прибыль (в долларах):

$$Z = 2500x_1 + 1500x_2$$

при условии, что

$$x_1 + x_2 \leq 80,$$

$$x_1 \leq 70,$$

$$x_2 \leq 45,$$

$$x_1, x_2 \geq 0.$$

Здесь  $x_1$  и  $x_2$  — соответственно количество вырабатываемого обычного и плательного материала в тысячах метров.

**ГРАФИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ.** На рис. 12.9 показаны область возможных решений и линия одинаковой прибыли (в долларах)

$$2500x_1 + 1500x_2 = Z,$$

проведенная через точку максимума прибыли  $x_1 = 70$ ,  $x_2 = 10$ , где прибыль равна 190 000 долл.

Фирма получает указание выработать 70 000 м обивочного материала и 10 000 м плательного, в результате чего прибыль составит 190 000 долл.

**ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ.** Формулировка рассматриваемой задачи в терминах линейного программирования не всегда полностью отражает проблему управления производством. Целевое программирование позволяет устанавливать приоритеты для различных целевых функций, что выполняется их размещением в порядке предпочтительности. Эта возможность очень удобна и полезна.

Допустим, что в дополнение к приведенной выше формулировке задачи руководитель фирмы хочет учесть очень важный фактор успеха в любом деле, а именно хорошие взаимоотношения между руководством фирмы и ее работниками. А это означает, что одной из основных целей руководства является недопущение текучести рабочей силы. Достичь этого можно следующим образом: когда спрос на продукцию превышает производственные возможности предприятия, их расширяют за счет введения сверхурочных работ. Из-за возрастания себестоимости продукции следует избегать сверхурочных работ продолжительностью более десяти часов в неделю. Итак, руководитель фирмы выделяет следующие четыре цели в порядке их важности:

$P_1$  — избегать неполного использования производственных возможностей предприятия (т. е. поддерживать устойчивый уровень занятости рабочей силы при нормальной загрузке);  $P_2$  — ограничить сверхурочные работы предприятия десятью часами;  $P_3$  — добиться целевых показателей по сбыту обивочного материала в размере 70 000 м, плательного 45 000 м;  $P_4$  — по мере возможности свести к минимуму сверхурочные работы.

В таком виде рассматриваемая задача включает несколько несовместимых целей, а следовательно, ее нельзя поставить и решить с помощью метода линейного программирования. Необходимо обратиться к методу целевого программирования. В данном случае мы имеем три основных ограничивающих фактора: производственные возможности, сбыт и сверхурочные работы на предприятии.

Производственные возможности. Производственные возможности, как было указано, ограничены на нашем предприятии 80-ю часами в неделю в две смены. При введении сверхурочных работ ограничение вида  $x_1 + x_2 \leq 80$  можно переписать так:

$$x_1 + x_2 + d_1^- - d_1^+ = 80, \quad (1)$$

где  $x_1$  — число часов, расходуемых на выработку обивочного материала;  $x_2$  — число часов, расходуемых на выработку пла-

тельного материала;  $d_1^-$  — «переменная отклонения», число неиспользованных рабочих часов из расчета 80-часовой рабочей недели, которая выражает неполное использование производственных возможностей;  $d_1^+$  — «переменная отклонения» — число сверхурочных часов (превышение производственных возможностей свыше 80 ч в неделю).

Сбыт. Максимальные возможности по сбыту обивочного материала и плательной ткани установлены соответственно 70 000 и 45 000 м. Следовательно, предполагается, что продать больше, чем указано, невозможно. Тогда приведенные выше ограничения на сбыт вида

$$x_1 \leq 70 \text{ и } x_2 \leq 45$$

можно переписать в следующем виде с «переменными отклонения»:

$$x_1 + d_2^- = 70,$$

$$x_2 + d_3^- = 45,$$

где  $d_2^-$  — невыполнение сбыта до максимально возможного значения по обивочному материалу;  $d_3^-$  — невыполнение сбыта до максимально возможного значения по плательной ткани.

Сверхурочные работы. Сверхурочные работы, обозначаемые через «переменную отклонения»  $d_4^+$ , могут быть ограничены, как планировалось, десятью часами в неделю. Это можно записать как

$$d_1^+ + d_4^- - d_4^+ = 10, \quad (2)$$

где  $d_4^-$  — «недобор» до десяти часов, время, неиспользованное на сверхурочные работы;

$d_4^+$  — превышение десяти часов в неделю на сверхурочные работы.

Подставим значение  $d_1^+$  из выражения (2) в уравнение (1) для производственных возможностей и получим уравнение вида

$$x_1 + x_2 + d_1^- - (10 - d_4^- + d_4^+) = 80,$$

или

$$x_1 + x_2 + d_1^- + d_4^- - d_4^+ = 90. \quad (3)$$

В последнем уравнении  $d_1^-$  должно равняться нулю, так как оно выражает число неиспользованных рабочих часов при 80-часовой неделе, а в данном случае предприятие работает 90 ч в неделю. Поэтому уравнение (3) можно упростить:

$$x_1 + x_2 + d_4^- - d_4^+ = 90.$$

### Формулировка задачи в терминах целевого программирования

В целевом программировании приоритет, или *весовые функции*, приписываются различным целям для того, чтобы учитывать их в порядке важности. Так,

$$P_1 \gg P_2 \gg P \gg P_4,$$

где  $P_1$  считается более важным, чем  $P_2$ , которое в свою очередь более важно, чем  $P_3$ , и т. д.

Более того, если известно, что один метр обивочного материала приносит прибыль 2,5 долл., а плательного только 1,5 долл., то соответствующим целям могут быть назначены веса в отношении 5 : 3. Такая модель целевого программирования может быть сформулирована следующим образом:

$$\text{Минимизировать } Z = P_1 d_1^- + P_2 d_4^+ + 5P_3 d_2^- + 3P_3 d_3^- + P_4 d_1^+$$

при условии, что

$$x_1 + x_2 + d_1^- + d_1^+ = 80,$$

$$x_1 + d_2^- = 70,$$

$$x_2 + d_3^- = 45,$$

$$x_1 + x_2 + d_4^- - d_4^+ = 90,$$

$$\text{при } x_1, x_2, d_1^-, d_1^+, d_2^-, d_3^-, d_4^-, d_4^+ \geq 0.$$

**ГРАФИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ.** Четыре указанных ограничений могут быть графически представлены на плоскости, как это показано на рис. 12.10, где переменные отклонения  $d_i$  показаны стрелками, указывающими направление отклонения по обе стороны ограничений. Решение по методу целевого программирования требует, чтобы каждая из целей, выраженных целевой функцией, удовлетворялась бы в порядке их важности.

1. Первая цель заключается в недопущении неполного использования производственных возможностей, т. е. в минимизации значения  $d_1^-$ .

Для достижения этой цели следует проанализировать ограничение, накладываемое на производственные возможности уже знакомым нам выражением (1). Если  $d_1^-$  должно быть равно нулю, то область возможных решений должна располагаться выше линии, представляющей ограничение.

2. Вторая цель заключается в ограничении сверхурочных работ на предприятии десятью часами в неделю или в получении наименьшего возможного (или вообще нулевого) значения для  $d_4^+$ . А это ограничивает область решений нижней частью плоскости под линией ограничения

$$x_1 + x_2 + d_4^- - d_4^+ = 90,$$

3. Третья цель сводится к достижению максимального сбыта при соблюдении дополнительного условия о том, что, прежде чем начинать продажу плательной ткани, необходимо продать весь обивочный материал. Максимальное количество обивочного материала, которое может быть продано, равно 70 000 м. Это может быть выполнено поиском решений задачи на отрезке  $EF$  внутри заштрихованной области. Затем можно приступить к максимизации сбыта 45 000 м плательной ткани. Чтобы достичь этого, необходимо попасть в точку  $B$ , которая лежит вне области

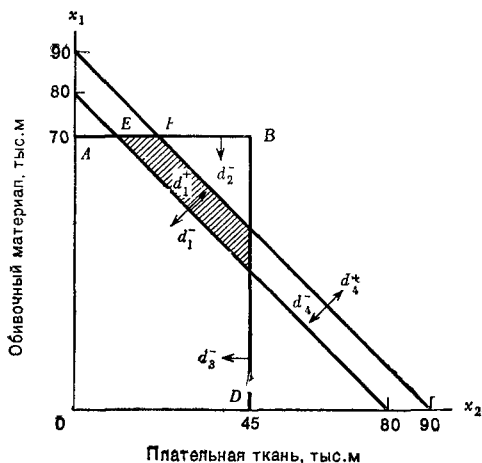


Рис. 12.10. Графическое решение задачи из примера 6 методом целевого программирования. Заимствовано из работы Lee S. M., Moog L. J., Introduction to Decision Science, © 1975, New York, ch. 6. (С разрешения авторов и Mason/Charter, Inc.)

возможных решений. Поскольку целям задачи были приписаны приоритеты, которые для третьей цели ниже, чем для двух первых, нежелательно стараться достичь ее выполнения за счет двух первых. В условиях данного решения максимум целевого задания по сбыту плательной ткани достигнут быть не может. Возможный максимум сбыта плательной ткани следует искать на линии  $EF$ ; в точке  $E$  значение  $x_1 = 70\,000$ , а  $x_2 = 10\,000$ . В точке  $F$  значение  $x_1 = 70\,000$ , а  $x_2 = 20\,000$ . Следовательно, точка  $F$  есть оптимальная точка для двух первых целей и наилучшая, которая может быть достигнута для третьей цели.

4. Последняя цель заключается в минимизации полного объема сверхурочных работ на предприятии. В целевой функции это положение выражено членом  $P_4 d_1^+$ . Минимизация  $d_1^+$ , начиная с точки  $F$ , означает, что мы должны стремиться удовлетворить ограничение

$$x_1 + x_2 + d_1^- - d_1^+ = 80,$$

где  $d_1^+$  равно нулю, в частности, достичь точку  $E$  на линии  $EF$ , которая явилась оптимальной для первый трех целей. Движение к точке  $E$  означает отмену 10-часовых сверхурочных работ, а следовательно, приведет к недополучению 10 000 м плательной ткани. Но мы знаем, что достижение четвертой цели за счет третьей нежелательно по соображениям приоритета. Поэтому точкой решения, наилучшим образом отвечающей поставленным целям, взятым в порядке их важности, является точка  $F$ . Будет произведено 70 000 м обивочного материала и 20 000 м плательной ткани; прибыль составит 205 000 долл. В этой точке две первые цели достигнуты полностью, а две другие частично. Мы недополучим 25 000 м плательной ткани, а сверхурочная работа составит десять часов.

## Краткое повторение

Приведенные выше примеры иллюстрируют методы и модели формальной оптимизации. Каждый из них содержит следующие этапы:

1. Определение задачи. Утверждается, что задача сводится к отысканию или максимума прибыли, или минимума полных затрат, или к максимизации стоимости, или к минимизации суммарных простоев и т. п.

2. Введение модели, с помощью которой описывается система. В примере 2 модель состоит из трех функций, которые охватывают всю информацию, имеющуюся о ситуации. В примере 3 уравнение (2) выражает полные затраты на хранение материально-производственных ресурсов, воплощая наше понимание проблемы приобретения и хранения таких запасов, а также отображает понятия компромиссов между затратами и объемом заказа. В примере 4 представлена система с целевой функцией, которая описывает нашу цель — максимизировать «индекс отдыха» при условии выполнения четырех неравенств, которые накладывают ограничения на денежные средства, а также учитывают факторы, влияющие на предложение и спрос на участки. В примере с планированием критического пути по времени система описывается в терминах работ, отрезков времени, требуемых на их выполнение, а также в терминах затрат.

3. Выработка мер эффективности, воплощающих цель, которая должна быть оптимально достигнута. В приведенные примеры включены прибыль, издержки, рекреационная ценность, простой и т. п.

Таким образом, оптимизационным моделям свойственны следующие общие моменты:

1. Определение задачи.
2. Формулирование оптимизационной модели.



3. Установление цели.
4. Выбор мер эффективности для выражения данной цели.
5. Использование некоторой процедуры, называемой *алгоритмом*, для решения задачи, выраженной данной моделью, и для нахождения оптимума.

### Оптимизационные модели

Поток литературы по оптимизационным моделям неудержимо возрастает. Отметим наиболее полно разработанные методы этой области исследования.

1. *Дифференциальное исчисление* [4, 5].

2. *Метод множителей Лагранжа*, в котором используются методы дифференциального исчисления, но, кроме того, принимаются во внимание ограничения, или граничные условия, для нахождения приемлемых решений [6, 7].

3. *Анализ полной стоимости*. Функция полных затрат использовалась для решения проблем материально-производственных запасов в примере 3; этот прием можно считать анализом полных затрат. Здесь для нахождения экстремальных точек применялись приемы дифференциального исчисления [7].

4. *Анализ приращений*, аналогичный анализу полной стоимости. Задачу по учету материально-производственных запасов из примера 3 можно решить и этим методом. Ее решение получается тогда, когда маргинальные (или имеющие приращение) затраты на оформление заказа равны маргинальным (или тоже с приращением) затратам на хранение запасов, т. е. в той точке, где дополнительные затраты на хранение дополнительной единицы запасов уравниваются соответственной экономией в затратах на оформление заказа. В примере 2 оптимальная прибыль была получена за счет максимизации функции прибыли или за счет нахождения той точки, в которой маргинальные затраты равны маргинальным доходам [7].

5. *Метод линейного программирования* применяется в тех случаях, когда нельзя использовать классические методы оптимизации с помощью дифференциального исчисления. Этот метод включает максимизацию (минимизацию) некоторой целевой функции при ограничениях на наличие (или спрос). Линейное программирование, как следует из названия, относится к линейным равенствам или неравенствам, т. е. показатели степеней при переменных равны единице. Линейное программирование является методом, используемым для оптимального распределения ресурсов (см. в гл. 6 о проблеме компромиссов) [8—12].

6. Так называемая *транспортная задача* относится к классу задач линейного программирования и включает нахождение оптимальных путей от источников в пункты потребления при ограниченных запасах предметов и постоянном спросе [8—12].

7. *Целевое программирование* можно рассматривать как расширение линейного программирования. Целевое программирование открывает возможности для ЛПР выразить относительную предпочтительность выдвигаемых целей. Этот реалистический подход к решению таких задач был уже включен в так называемое *программирование с упорядочением* [13]. Целевое программирование обеспечивает определенную гибкость в выборе целей, которой нет в линейном программировании, и в то же время оно сохраняет строгость рассуждений и приемов решения. Так же как и в линейном программировании, в целевом программировании можно использовать мощный симплекс-метод. Этот метод был впервые введен Чарнесом, Купером и Фергюсоном [14] и усовершенствован Иджири, Ли и др. [15]. Сравнительно недавно опубликованы новые примеры решений методом целевого программирования, которые могут заинтересовать читателя, например работа [16]. *Ранговое программирование* является пока неустановившимся названием, которое дано еще одному методу аппроксимации, который, как утверждается, не уступает целевому программированию и добавляет прием установления «области удовлетворяющих решений» к арсеналу средств линейного программирования [17]. Одной из трудностей, обнаруженных в ходе применения целевого программирования, является анализ и установление компромиссов между целями, когда приоритеты, назначаемые различным несовместимым целям, изменяются во времени. *Интерактивное программирование* было предложено для обеспечения реализации диалогового (интерактивного) режима работы, с помощью которого ЛПР может решать многокритериальные задачи оптимизации в терминах функции предпочтения. Авторы работы [18] утверждают: «Лицо, принимающее решение, должно располагать информацией, касающейся локальных компромиссов между критериями в заранее назначаемых точках, а также должно выполнять одномерные оптимизации... Предложен алгоритм, который требует взаимодействия с ЛПР, для того чтобы получить определенную информацию, касающуюся функции полезности ЛПР, определенную над допустимыми значениями критериев». Взаимодействие (или диалог) между ЛПР и моделью решения данной задачи может быть осуществлено с помощью терминала вычислительной машины, реализующей данную модель [19].

8. *Целочисленное программирование*. Это метод приложим к задачам на распределение, в которых решения могут быть приемлемы только тогда, когда выражаются целыми числами. Были разработаны алгоритмы оптимизации для решения таких задач, которые очень часто рассматриваются как алгоритмы нелинейного программирования [20].

9. *Динамическое программирование* получило свое наименование от процедуры, использовавшейся для нахождения оптимума, а не от типа рассматриваемых и решаемых таким образом задач. Задачи, решения которых могут быть найдены методами линейного программирования, могут быть также сформулированы в терминах динамического программирования. Вопрос о том, какой метод использовать, зависит от типа задачи, подлежащей решению. Динамическое программирование целесообразнее всего применять для решения таких задач, которые включают определенные этапы, или шаги, результаты нахождения решения на которых оказывают влияние на результаты последующих этапов, или шагов, решения. Примером задачи, которая могла бы быть решена методом динамического программирования, является задача по управлению материально-производственными запасами, включающая работу по трем временным периодам. Наличие запасов, требуемых в начале и в конце каждого периода, фиксировано, а спрос на протяжении трех периодов известен. Задача состоит в определении оптимальных количеств продукта, которые должны быть произведены за каждый период для удовлетворения спроса и требований поддержания запасов при минимизации полных затрат [21].

10. *Квадратичное и нелинейное программирование* являются методом решения более сложных задач, целевые и другие функции которых не обязательно линейны [21].

11. *Модели очередей* призваны описывать и находить решение задачи оптимизации проектирования и использования средств обслуживания клиентов, прибывающих в разное время. Обычно такая задача по своей природе относится к классу вероятностных задач. Она включает нахождение соотношения между затратами на ожидание в очереди и затратами на создание дополнительных средств обслуживания. При создании дополнительных средств обслуживания затраты на ожидание снижаются, однако затраты на обслуживание, а также вероятность простоя средств обслуживания возрастают [22].

12. *Сетевые модели* относятся к моделям, описывающим потоки различного типа, а также критические последовательности работ в плановой сети выполнения некоторого проекта [23].

Более полно понятия оптимизации, алгоритма и методы исследования операций изложены в работах [4—23].

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Bowen E. K., *Mathematics with Applications in Management and Economics* (rev. ed.), Homewood, Ill., Irwin, 1967.
- 2 Theodore C. A., *Applied Mathematics: An Introduction*, Homewood, Ill., Irwin, 1965, ch. 11.

3. Meier R. C., Programming of Recreational Land Acquisition, *Socio-Economic, Planning Sciences*, 2, 1, 16 (October 1968).
4. См. п. 1.
5. См. п. 2.
6. Groff G. K., Muth J. F., Operations Management: Analysis for Decisions, Homewood, Ill., Irwin, 1972.
7. Bowman E. H., Fetter R. B., Analysis for Production Management (3rd ed.), Homewood, Ill., Irwin, 1967.
8. Loomba N. P., Turban E., Applied Programming for Management, New York, Holt, Rinehart and Winston, 1974. См. также Turban E., Loomba N. P., Readings in Management Science, Dallas, Business Publications, 1976; Turban E., Meredith J., Fundamentals of Management Science, Dallas, Business Publications, 1977.
9. Riggs J. L., Inoue M. S., Introduction to Operations Research and Management Science, New York, McGraw-Hill, 1975.
10. Buffa E. S., Dyer J. S., Management Science/Operations Research, New York, Wiley, 1977.
11. Cook T. S., Russell R. A., Introduction to Management Science, Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall, 1977.
12. Geoffrion A. M. (ed.), Perspectives on Optimization, Reading, Mass., Addison-Wesley, 1972, pt. III.
13. Bartee E., Problem Solving with Ordinal Measurement, *Management Science*, 17, 10, B-622 — B-633 (June 1971).
14. Charnes A., Cooper W. W., Management Models and Industrial Applications of Linear Programming, New York, Wiley, 1961; Charnes A., Cooper W. W., Ferguson R., Optimal Estimation of Executive Compensation by Linear Programming, *Management Science*, 1, 138—151 (1955); Charnes A. et al., A Goal Programming for Media Planning, *Management Science*, 14, 423—430 (1968).
15. Ijiri Y., Management Goals and Accounting for Control, Chicago, Rand McNally, 1956; Lee S. M., Decision Analysis through Goal Programming, *Decision Science*, 2, 172—180 (1971); Lee S. M., Goal Programming for Decision Analysis, Philadelphia, Auerback, 1972; Lee S. M., Goal Programming for Decision Analysis of Multiple Objectives, *Sloan Management Review*, 14, 11—24 (1975).
16. Lee S. M., Clayton E. R., A Goal Programming Model for Academic Resource Allocation, *Management Science*, 18, 8, 395—408 (April 1972); Lee S. M., Lerro A., Optimizing Portfolio Selection for Mutual Funds, *Journal of Finance*, 28, 1087—1101 (1973); Lee S. M., Moore L. J., Optimizing Transportation Problems with Multiple Objectives, *AIEE Transactions*, 5, 333—338 (1973); Lee S. M., Nicely R., Goal Programming for Marketing Decisions: A Case Study, *Journal of Marketing*, 38, 24—31 (1974). Kornbluth L., A Survey of Goal Programming, *Omega*, 1, 2, 193—205 (1973); Walters A., Mangold J., Haran E. G. P., A Comprehensive Planning Model for Long-Range Academic Strategies, *Management Science*, 22, 7, 727—738 (March 1976); Clayton E. R., Moore L. J., Goal versus Linear Programming, in Turban E., Loomba N. P. (eds.), Readings in Management Science, Dallas, Texas, Business Publications, 1976, ch. 3; Charnes A., Cooper W. W. et al., A Goal Interval Programming Model for Resource Allocation in a Marine Environmental Protection Program, *Journal of Environmental Economics and Management*, 3, 347—362 (1976).
17. Laurent G., A Note on Range Programming: Introducing a «Satisficing Range» in a L. P., *Management Science*, 22, 6, 713—716 (February 1976); Walters A., Mangold J., Haran E. G., A Comprehensive Planning Model for Long-Range Academic Strategies, *Management Science*, 22, 7, 727—738 (March 1976).

18. Dyer J. S., Interactive Goal Programming, *Management Science*, **19**, 1, 62—70 (September 1972).
19. Lee S. M., Interactive and Integer Goal Programming, Paper presented at the 1975 Joint ORSA/TIMS Meeting, Las Vegas, Nevada, November 1975.
20. См п. 10, гл. 17.
21. Там же, гл. 18.
22. Там же, гл. 10 Bhat V. N., Sixty Years of Queueing Theory, *Management Science* **15**, 6, B-280 — B-294 (February 1969).
23. См. п. 10, гл 16, а также п. 12, ч. IV.

### Введение

Главы 13 и 14 следует читать последовательно. В них мы обсудим проблему решения сложных практических задач, пользуясь методом субоптимизации. В ряде случаев мы не можем рассматривать решение задач в целом, а с помощью «частичных поправок» и «отдельных улучшений» можем получать только частные решения, которые даже не укажут путь к полным системным решениям. Но все же мы даем себе отчет в том, что субоптимизация может оказаться единственно возможным подходом к проблеме, поэтому удовлетворимся этим малым и займемся поиском наилучших возможных методов субоптимизации.

### Пространство решений

Брейбрук и Линдблом вводят две основные характеристики для классификации решений:

1. Степень изменений, которые могут быть достигнуты с помощью решения.

2. Объем информации и степень понимания ситуации, которыми располагает ЛПР относительно той области, в которой принимается решение.

Соответственно введенным характеристикам все пространство принятия решений может быть разделено на четыре квадранта (рис. 13.1) <sup>1)</sup>.

**Квадрант 1. Большие изменения и глубокое понимание.** «Решения, влекущие большие изменения, при которых руководствуются достаточной информацией и глубоким пониманием си-

---

<sup>1)</sup> Заимствовано из книги Braybrooke D., Lindblom C. E., *Strategy of Decision*, ch. 4, © 1963, Free Press of Glencoe, A Division of the Macmillan Company. (С разрешения Macmillan Company.)

туации». Этот квадрант относится к сфере «сверхчеловеческих принятий решений... требующих... невероятных способностей обзорного анализа, лежащих за пределами человеческих возможностей».

**Квадрант 2. Небольшие изменения и глубокое понимание.** «Решения, приводящие к небольшим изменениям, при которых руководствуются достаточной информацией и глубоким пониманием ситуации». Это сфера «текущих правительственных решений».

**Квадрант 3. Небольшие изменения и слабое понимание.** «Решения, в результате принятия которых происходят небольшие

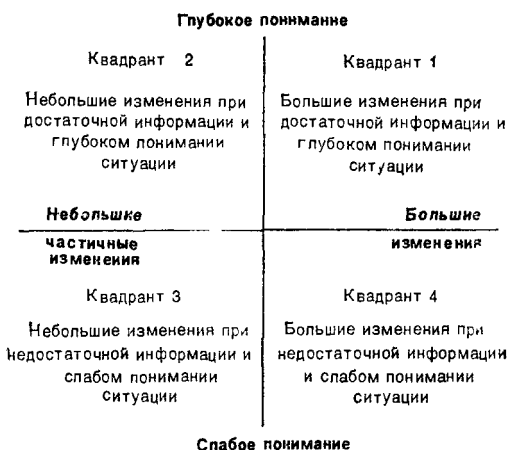


Рис. 13.1. Пространство принятия решений [1]. (С разрешения Macmillan Company.)

изменения, они не основаны на достаточной информации и понимании». Такие решения «являются объектом непрерывного пересмотра и переделки... Они характерны для обычной повседневной политики».

**Квадрант 4. Большие изменения и слабое понимание.** «Решения, приводящие к глубоким изменениям, принимаемые без достаточной информации и при слабом понимании ситуации». Это сфера «необоснованных и непредсказуемых решений... ясно, что они не относятся к политике».

Из сказанного выше нетрудно заметить, что квадрант 2 представляет пространство решений, где мы делаем осторож-

ные шаги, основанные, как мы полагаем, на достаточной информации. Очевидно, что мы заходим также в пространство, представляемое квадрантом 3, где смело делаем небольшие шаги, не имея полной информации. Брейбрук и Линдблом называют такие действия «частичными поправками». Они выдвигают теорию о том, что каждодневные решения в своем большинстве основываются на небольших изменениях. Так, старые программы действий продолжают перерабатываться в новые «в результате последовательности решений». Новая программа «вовсе не является всесторонне рассмотренной и координационной программой». Скорее наоборот, «это есть результат большого числа малых, частных ходов... посредством которых старые программы модифицируются... через бесконечный поток... решений».

Проводить частичные поправки означает концентрировать свои усилия в направлении специфических бедствий, природа которых все время пересматривается, а не глубоких реформ. Под этим также понимают осуществление далеко идущих изменений через последовательность отдельных ходов, вследствие чего мы удаляемся от известных социальных бедствий и только, а не движемся в направлении известной и относительно стабильной цели [1].

По неизбежной необходимости осуществление частичных поправок ведет к *субоптимизации*. Это понятие включает последствия проведения действий по достижению «меньших, чем оптимальные», целей, приносящих «меньшие, чем оптимальные», результаты. Этот метод существенно отличается как от системного, так и от «обзорного» подхода.

«Обзорный» подход к принятию решений — это не что иное, как подход Марча и Саймона, описанный в гл. 4. Напомним, что, согласно предложенной там модели, «принимать серьезные решения означает делать выбор между имеющимися вариантами после тщательного и полного изучения всех возможных действий и всех возможных последствий таких действий». Понимание задачи «требуется полной информации и всестороннего анализа» [2]. Задача должна рассматриваться в целом, с учетом систем и подсистем, имеющих к ней то или иное отношение.

Коренное различие между моделью «частичных поправок» и «обзорной» моделью можно усмотреть в том, что первая является описательной, а вторая предписывающей моделью принятия решения. Одна демонстрирует то, как в действительности принимаются решения, а другая — как бы их следовало принимать [3].

Мы сожалеем о том, что не способны оптимизировать и вынуждены заменить наши действия по оптимизации субоптимизацией. Поэтому мы считаем необходимым подробно рассмотреть те препятствия, которые возникают на пути оптимизации.



## Затруднения на пути оптимизации, приводящие к субоптимизации

### Метод улучшений

Так же как и «частичные поправки», метод улучшений ограничивает горизонты решения ЛПР только теми вариантами, которые непосредственно применимы в рамках конкретной системы. Чёрчмен дает критическую оценку превалирующему сейчас методу улучшений.

Вполне естественно ожидать, что улучшения могут быть внесены в определенные части системы без необходимости глубокого анализа и изучения характеристик системы в целом. Так, например, на Западе существует традиционная убежденность в том, что части полной системы можно и изучать, и улучшать в большей или меньшей степени изолированно от остальной системы.

Эта концепция социальных улучшений настолько глубоко укоренилась среди мыслителей Запада, что мы вполне естественно считаем правильным разбиение нашего общества на функциональные элементы. Мы также поддерживаем утверждение о том, что каждый из таких элементов разрабатывает свои собственные критерии улучшения и что элементы по возможности свободны от воздействий других частей социальной структуры.. Человечество упустило из виду одну очень серьезную проблему, вводя и определяя концепцию улучшения. Эта проблема формулируется очень просто: как можно проектировать улучшения в больших системах без понимания системы в целом? А если ответ на этот вопрос звучит так: это невозможно — то как можно понять систему в целом? [4].

Любое усовершенствование, планируемое для отдельно взятой изолированной системы, может оказаться для нее оптимальным. Однако, если пренебречь взаимозависимостями с другими системами и их воздействием на данную систему, изолированное улучшение может привести только к субоптимальному решению в рамках более широкого понимания системы. Поиски «улучшений» путем исследования частей полной системы приводят нас в те ловушки «частичных поправок», которые, как указывалось выше, «помогают уходить от социальных бедствий», но не способствуют глобальному решению проблем. Так, например, прикладывая завидные усилия, мы «улучшаем» существующие системы благосостояния. Мы делаем бедных менее бедными, однако мы не в состоянии ликвидировать проблему бедности. Более того, прибегая к «посекторному улучшению» (этот термин введен для замены традиционного выражения «улучшение по частям»), мы отбрасываем рассмотрение этических аспектов полной системы. Нам бы хотелось «оценивать системы», «рассматривая последствия вносимых нами изменений» для системы в целом, а не для «одного из секторов»

общества... Проблема улучшения системы (т. е. оценки этического совершенства предлагаемых нами изменений и решений) является проблемой „этики системы в целом“» [5].

Системный подход не ограничивается внесением улучшений в подсистемы. Решение проблемы преступности и правонарушений заключается не только в обеспечении большей строгости применения закона за счет повышения значения мер предупреждения, обнаружения и взятия нарушителей под стражу; оно включает также усовершенствование системы отправления правосудия (справедливое вынесение приговоров, беспристрастность судей), а также усиление положительного влияния исправительных институтов. Рассматриваемое в рамках тех подсистем, в которых указанные выше процессы имеют место, достижение любой из отмеченных целей может быть желательным и рекомендуемым. Однако для того чтобы избежать дорогостоящей субоптимизации, каждое из перечисленных действий должно быть включено в более крупную систему и оценено в зависимости от вклада, вносимого в выполнение общих целей такой системы. Этими более крупными системами являются «полная система» и «система в целом». В гл. 1 при рассмотрении проблемы преступности мы в качестве «полной, или общей, системы» взяли систему уголовного делопроизводства, в рамках которой работают перечисленные выше органы, а в качестве «системы в целом» — те «системы, которые могут оказывать на нее влияние или взаимодействовать с ней.

## Проблема выбора правильных целей

Рассматривая улучшения, которые мы собираемся вносить в системы, не следует ограничиваться только вопросами объема и масштабов готовящихся улучшений; необходимо учитывать и проблему выбора правильных целей.

Например, в гл. 10 обсуждался вопрос: следует ли заниматься поисками улучшения здоровья для того, чтобы продлить жизнь человека? Если рассматривать этот вопрос с позиций медицины, продление жизни может представиться идеалом, или оптимальной целью, которой стоит заняться. Однако последствия стремления к этой цели могут оказаться не вполне желательными, т. е. субоптимальными; и не только для людей, в интересах которых будет проводиться эта работа, но и для всех остальных членов общества, если только не будут учтены и другие соображения, в частности другие системы. Так, против повышения средней продолжительности жизни может быть выдвинут такой довод: в условиях ограниченности природных ресурсов (пространства, воздуха, пищи) каждый получит меньшую долю, ведь распределять их придется на большее число

человек. Более того, нет смысла увеличивать среднюю продолжительность жизни человека (предположительная цель подсистемы, называемой медицинской наукой), пока не будет надлежащим образом развита гериатрия (наука о заболеваниях и их лечении в старческом возрасте) и не будет достаточно изучена роль пожилых членов в обществе, которая сейчас передается молодым, активным и более мобильным возрастным группам.

В совершенно другой области, например в области технического обслуживания и обеспечения коммерческой авиации, неправильный выбор целей может привести к неудачным компромиссам и дорогостоящей субоптимизации. Начальник ремонтной службы может посчитать, что его цель должна заключаться в минимизации затрат на рабочую силу без нарушения установленных стандартов на качество ремонта и техническое состояние самолетов.

Возможно, минимизация затрат на рабочую силу и является существенной целью для взятой отдельно системы техобслуживания, но при ее достижении не учитываются цели более крупной системы — авиатранспортной компании, для которой рост прибылей является основной целью. Начальник ремонтной службы должен подчинять свои цели целям вышестоящей системы. Авиакомпания может пойти на увеличение расходов на рабочую силу в службе ремонта для того, чтобы сократить время простоя самолетов на техосмотрах, а следовательно, увеличить доход от каждого километра полета. Затраты на привлечение дополнительной рабочей силы требуется сравнить с затратами на простой самолетов. Компромисс достигается между увеличением зарплаты штата ремонтной службы, ростом эксплуатационных расходов и снижением стоимости простоев машин. Следует найти минимум для этих трех типов затрат. Любая другая альтернатива может оказаться *оптимальной* для одной, а возможно, и для нескольких подсистем, но *субоптимальной* для системы в целом. Расчет компромиссных решений рассматривался в гл. 6, и мы рекомендуем читателю обратиться к ней.

В экономических работах непринимаемое в расчет влияние одной системы на другую часто называют внешним, или побочным, эффектом. Проиллюстрируем на примере, относящемся к сталелитейной промышленности, как изменяются решения, когда пренебрегают таким эффектом или когда более крупная система выпадает из поля зрения ЛПР.

Сталелитейная промышленность перешла на кислородное дутье, потому что мартеновские печи неэкономичны и, кроме того, их выбросы загрязняют атмосферу. В результате 60% предприятий сталелитейной промышленности США работает сейчас на кислородном дутье. Положительным моментом такого перехода явилось уменьшение загрязнения атмосферы.

Однако изменение процесса вызвало и отрицательные последствия. Металлолом, который прежде использовался в мартеновском производстве, теперь не идет в переплавку. Поэтому сейчас мы стоим перед проблемой возрастания гор металлолома, в частности, за счет старых автомобилей. Очевидно, что, поскольку утилизировать их нельзя, это ведет к загрязнению земной поверхности (рис. 13.2).

Переход на кислородное дутье можно рассматривать как оптимизацию на уровне каждой из сталелитейных фирм или даже на уровне сталелитейной промышленности в целом. По-видимому, производственные затраты на выплавку стали



**Рис. 13.2.** Субоптимизация на сталелитейном комплексе (знаками «плюс» и «минус» указаны положительные и отрицательные стороны перехода на кислородное дутье).

уменьшились, достигнуты и другие преимущества. Однако на уровне более крупной системы, включающей следующие компоненты:

Сталелитейная фирма + Сталелитейная промышленность + Промышленность по переработке металлолома + Система загрязнения атмосферы + Система загрязнения земной поверхности.

Переход на кислородное дутье в конечном счете может оказаться вовсе не оптимальным решением, а очевидной субоптимизацией [6].

### Поиск «оптимума» в реальном мире

Мы уже обращались в гл. 4 к понятию «границы рациональности». Эти границы являются врожденным ограничением индивидуума, которое не позволяет ему найти все возможные варианты и предусмотреть все последствия решения задачи, а также в итоге не позволяет ему рассчитать, где находится оптимальное решение. Может даже оказаться, что и при достаточно простой задаче он будет не подготовлен к выбору

оптимального решения. Это было выяснено во время так называемых опытов Чёрчмена и Рагуша.

В ходе этих опытов, которые проводились в форме деловой игры, группы испытуемых проходили проверку на их желание и готовность найти и применить оптимальное решение задачи, относительно несложной для анализа [7].

Как следует из предыдущей главы, полной оптимизации можно достичь только в рамках замкнутой модели, такой, как математическая модель, где все переменные, параметры и допущения могут быть определены и управляемы. Мы же имеем дело с оптимальными решениями моделей, которые являются только аппроксимациями отдельных частей задач реальной жизни, не всегда достаточно хорошо понятных. В рамках полной системы наши решения являются субоптимизацией, которые в лучшем случае могут только указать направление поиска наиболее желательного пути. Очевидно, мы должны согласиться с Фишером, заявившим следующее [8]:

Как аналитик я полагаю, что нам всегда хотелось бы получить «предпочтительные решения» при изучении дальнейших возможных путей и способов действий. В идеале это означает определение оптимума, т. е. точки на некоторой хорошо определенной поверхности, в которой все частные производные равны нулю, а соответствующие условия, накладываемые на производные второго порядка, выполнены. Но я позволю себе утверждать, что при решении большинства встающих перед нами сегодня задач по долгосрочному планированию любого масштаба и значения очень редко можно даже близко подойти к настоящей оптимизации. Чаще всего мы счастливы, если удастся получить хотя бы некоторое представление о знаках наших частных производных, т. е. о том, двинемся ли мы, так сказать, «вверх» к седловине максимизации нашей задачи или удаляемся от нее. Я даже осмелюсь сказать, что в большинстве исследований, в которых я принимал участие в последние годы, было трудно даже определить, к какой точке мы стремимся или должны стремиться!

## Проблема критерия

Полная оптимизация требует максимизации полной функции полезности  $U$ , чтобы можно было сравнивать все возможные варианты, состояния и конкурирующие стратегии для всех наборов переменных, или критериев [9].

Совершенно очевидно, что такая задача оптимизации во всей полноте не может быть ни сформулирована, ни решена. В лучшем случае удастся сравнить некоторое выбранное число вариантов при ограниченном числе введенных критериев. Ниже мы укажем, как выбор и введение критериев влияет на появление ошибок; при этом мы пользовались различными источниками, в частности работами [10—12].

*1. Приблизительный, а не точный критерий.* Невозможность рассмотрения всего множества вариантов и критериев приводит

к тому, что принимается решение остановиться на «приблизительных» критериях, вместо того чтобы использовать «точные». Такие приблизительные критерии являются практической заменой недостижимых точных критериев.

**2. Игнорирование абсолютных значений.** Использование отношений между показателями, которые характеризуют эффективность, производительность и т. п., и затратами без учета абсолютных значений показателей или затрат. Иногда по условиям данной ситуации необходимо отбросить какой-либо из вариантов наложением требований, выражаемых в абсолютном значении производительности или в абсолютном значении полных затрат.

**3. Недостаточное внимание к маргинальным прибылям.** Имея два или более варианта, важно сравнить прибыль, которая может быть получена от капиталовложений в том и другом случае. Не менее важно подсчитать и маргинальную прибыль от вложения дополнительных средств. Обратимся к примеру. Некоторое агентство рассматривает вопрос о капиталовложениях в одно из двух дел (исходные условия в обоих случаях одинаковы).

В первом случае требуются капиталовложения размером 55 000 долл. с доходом 11 000 долл./год сроком на 10 лет. Агентство считает цену капитала в 10%.

Во втором случае необходимы капиталовложения размером 85 000 долл., с доходом 15 000 долл./год на тот же срок. Ниже приводится расчет эквивалентных годовых затрат.

Норму прибыли найдем, пользуясь таблицами коэффициентов, по которым производится пересчет данных значений капитала в эквивалентные суммы годовых оплат и наоборот [13].  
ВАРИАНТ 1. Приравняем годовой доход к годовой эквивалентной сумме капиталовложений

$$11\,000 = 55\,000 \left[ \left( \frac{a}{p} \right)_{10}^i \right],$$

где  $(a/p)_{10}^i$  — коэффициент пересчета, используемый для нахождения годовых оплат  $a$  при условии, что величина годового дохода  $p$  задана. Здесь этот коэффициент [13]

$$\left( \frac{a}{p} \right)_{10}^i = 0,199.$$

Следовательно, норма прибыли  $i = 15\%$ .

ВАРИАНТ 2. Проведем аналогичные расчеты:

$$15\,000 = 85\,000 \left[ \left( \frac{a}{p} \right)_{10}^i \right].$$

Коэффициент пересчета, согласно работе [13], равен

$$\left(\frac{a}{p}\right)_{10}^i = 0,177.$$

Тогда норма прибыли  $i = 12\%$ .

В обоих случаях норма прибыли на вложенные деньги превысит принятую цену капитала, равную 10%. Следует агентству вложить свои средства в первое дело или во второе? Внести 55 000 или 85 000 долл.? Ответ лежит в подсчете прибыли от дополнительных вложений 30 000 долл., т. е. той разницы или



Рис. 13.3. Нормы прибыли от вложенного капитала.

приращения, которая потребуется для перехода от варианта 1 к варианту 2. Увеличение вкладываемого в дело капитала даст дополнительную прибыль 4000 долл. в год. Расчеты, аналогичные приведенным выше, показывают, что дополнительные деньги принесут меньше, чем 6% прибыли, — явно меньше расчетного «порога», который установлен в 10%:

Доход с дополнительных вложений:

$$400 = 30\,000 \left[ \left( \frac{a}{p} \right)_{10}^i \right].$$

Коэффициент пересчета [13] равен

$$\left[ \left( \frac{a}{p} \right)_{10}^i \right] = 0,133.$$

Норма прибыли  $i \approx 6\%$ .

Следовательно, агентству нецелесообразно вкладывать эти дополнительные 30 000 долл. под 6%. На рис. 13.3 показано, что мы понимаем под маргинальной прибылью от вложений. Взвешенная прибыль может быть подсчитана следующим образом:  $55\,000(0,15) + 30\,000(0,06) = 10\,050$  долл.

Норма прибыли на 85 000 долл. вложений составит

$$\frac{10\,050}{85\,000} = 0,12, \text{ т. е. } 12\%.$$

4. *Оптимизация с ограничениями.* Необходимо решить, следует ли стремиться получить максимальную прибыль (или выход) при фиксированных значениях бюджета или же минимальные затраты при фиксированном уровне прибыли (или выхода). В рамках одной и той же модели максимизация или минимизация с ограничениями приводит к одним тем же результатам, однако обе цели одновременно достигнуты быть не могут.

5. *Пренебрежение временными соображениями.* В большом числе ситуаций мы пренебрегаем временным фактором, так как не можем предусмотреть влияния будущих событий и факторов на наши решения. Такая неспособность построения прогнозов высокой точности объясняет, почему мы обращаемся к субоптимизации на короткие отрезки времени на основе «приблизительных критериев», вместо того чтобы строить модели оптимизации на длительные отрезки времени, руководствуясь точными критериями. Необходимо непрерывно переоценивать и пересматривать решения, уже сделанные в прошлом, чтобы определить их правильность в свете меняющихся внешних условий.

6. *Опасности, возникающие при измерениях, проводимых по шкалам ранжирования.* Следует остерегаться обычных ошибок и опасностей, которые возникают при неосторожном обращении с результатами измерений по различным шкалам. Рассмотрены следующие ошибки: обработка измерений, выполненных по показательной шкале таким образом, будто они проведены с помощью шкалы интервалов; сложение, умножение и нормализация категорий (или очков), как если бы это были кардинальные числа и др. [14]. Некоторые из указанных вопросов были затронуты в гл. 11 при обсуждении измерений и методов комбинированных оценок и весов. Мы рекомендуем читателю обратиться к аксиоматическим методам оценки аддитивных показателей выгоды [15, 16] и к исчислению рангов [17].

## **Проблема выбора между оптимизацией и субоптимизацией**

Существуют сторонники как оптимизации, так и субоптимизации, о чем можно судить по приводимым ниже высказываниям.

Получить решение, которое оптимально, но не осуществимо, бессмысленно [18].

Аппроксимация, которая нашла применение, может оказаться намного лучше, чем точное решение, не имеющее практического использования [19].

Субоптимизация как необходима, так и неизбежна [20].

Если на время и рабочую силу наложены ограничения, то субоптимизация может оказаться единственно возможным методом [21].



## Оптимизация и субоптимизация

Проблема выбора между оптимизацией и субоптимизацией возникает только в тех случаях, когда нет четкого разграничения между моделями и реальностью.

1. Оптимум и оптимизация используются для выражения «императива науки», т. е. познавательного императива.

2. Оптимум может быть только тогда определен и найден, когда задача выражена в форме оптимизационной модели.

3. *Оптимизация* может быть определена как максимизация функции полезности в рамках моделей, а *субоптимизация* как максимизация функции полезности в условиях реального мира. Полезность представляет в данном случае сочетание конечных и промежуточных целей [22].

4. Субоптимумом является все, что ниже по значению, чем оптимум.

5. В реальных условиях оптимум нельзя ни найти, ни вычислить. Поэтому по определению мы работаем с субоптимизацией и субоптимумами.

6. Для того чтобы иметь возможность поставить цель, принимая решения в реальных условиях, мы должны *постулировать* существование некоторого оптимума, который может быть только «наилучшим решением». В таком случае оптимизировать означает работать в направлении достижения наилучшего решения.

7. Существуют хорошие и плохие субоптимизации. Хорошими мы называем такие субоптимизации, которые способствуют разработке и применению того, что в данный момент считается наилучшим решением. Плохими субоптимизациями являются такие, которые препятствуют реализации наилучшего решения.

### Как добиться субоптимизации?

Если мы поняли необходимость идти по пути субоптимизации, следует сформулировать определенные правила, указывающие направление достижения лучших субоптимизаций.

Правило 1. Имея дело с иерархической системой, требуется следить за тем, чтобы цели нижестоящих систем находились в соответствии с целями вышестоящих систем. Это можно сформулировать и так: критерии нижестоящих систем должны быть согласованы с критериями вышестоящих систем [23—25]

Проблема заключается в выборе критерия, подходящего для того уровня, на котором принимается решение, и в то же время обеспечивающего требование, чтобы критерии нижестоящих уровней приводили бы к нахождению таких решений, которые

были бы направлены на достижение целей системы в целом. На более высоких уровнях проблема заключается в выборе правильного общего критерия, который удовлетворял бы по возможности и большинству целей нижестоящих систем. А это есть не что иное, как сведение разнообразных целей в агрегированные цели и согласование целей систем разного уровня иерархии. Однако возникает затруднительное положение: мы не можем доказать, что, удовлетворяя цели систем более высокого уровня, мы также добиваемся достижения целей систем более низкого уровня. И наоборот, мы не можем обеспечить такое положение, что удовлетворение критериев систем более низкого уровня всегда будет приводить к максимизации выполнения критериев систем более высокого уровня. Мы вернемся к этому вопросу в гл. 14 в связи с рассмотрением математической теории субоптима.

Правило 2. Оптимальность по Парето Субоптимизации надо подсчитывать и ранжировать в соответствии с тем, насколько они увеличивают значение прибыли каждой подсистемы без снижения значения показателя полезности какой-либо другой подсистемы или системы в целом [26].

Это правило вовсе не отменяет возможности компромиссов между системами, что также может вести к улучшению общего оптимума. Различие в маргинальных темпах подстановок или уступок ведет к тому, что некоторое уменьшение полезности одной системы может повысить, и при этом иногда в большей степени, полезность другой системы. Такие компромиссы между системами могут даже закончиться тем, что обе они окажутся в лучшем положении, чем вначале. Напомним читателю, что анализ прибыли — издержки в гл. 11 строился на принципе «улучшения Парето», при котором выгоды могут быть распределены таким образом, чтобы каждая из заинтересованных сторон не оказалась в проигрыше [27].

Правило 3. Опасность расплаты за неудачные субоптимизации уменьшается с увеличением размеров рассматриваемых систем. Влияние побочных эффектов будет снижаться, когда системы будут интегрироваться в более крупные.

Правило 4. Размеры системы должны возрастать только до такой точки, где преимущества, возникающие за счет выравнивания влияния побочных эффектов, продолжают перевешивать отрицательные моменты работы с системой, сложность которой может «превызойти возможности системного анализа» [28, 29].

На рис. 13.4 показано соотношение между сложностью систем и опасностью пренебрежения побочными эффектами. Компромиссы между простотой и сложностью рассматриваются в гл. 14.

Правило 5. Масштабы и разветвленность некоторых задач могут допустить их решение только на самом высоком организационном уровне системы. Чем ниже уровень, на котором рассматривается такая система, тем больше опасность, что будут упущены или не замечены важные связи с другими системами [30].

Правило 6. При оценке и выборе субоптимизаций следует отдавать предпочтение тем из них, которые удовлетворяют требованиям системного подхода, а не субоптимизациям, являющимся «частичными поправками» или «отдельными улучшениями» (Этому вопросу уделялось внимание в начале главы.)

Правило 7. Миллер и Стар интерпретируют принцип ограниченной рациональности как рекомендацию не «следовать неразумным крайностям рациональности». Говоря иными словами, может оказаться более выгодным рассмотреть «промежуточные оптимумы» в поисках «конечного оптимума» и

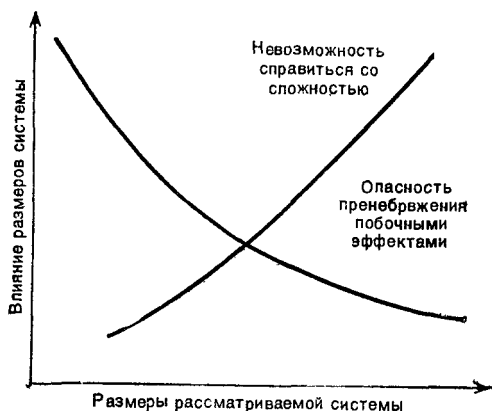


Рис. 13.4. Компромиссы между сложностью и риском пренебрежения взаимосвязями с другими подсистемами.

пересматривать наши цели и данные еще много раз на пути решения [31]. Эти соображения приводят к правилу 8

Правило 8 «Степень субоптимизации может быть изменена с течением времени, если принимать такие решения, которые допускают широкий круг случайностей и возможностей» [32].

Наше сегодняшнее знание процесса принятия решения не позволяет нам с точностью утверждать, в какой точке дерева решения начинается путь к глобальному оптимуму. Эта проблема изучалась в связи с процессами научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ [33, 34].

Правило 9. Поиск глобального оптимума можно сравнить с моделью «средства — цели». Мы не знаем, следует ли нам двигаться вперед или назад по цепочке средства — цели; однако мы все время должны стремиться определить промежуточные цели, которые находились бы в соответствии с конечными целями [35].

Для описания сложности систем можно воспользоваться теорией иерархических систем. Иерархические модели, которые будут рассмотрены далее, помогут ответить на вопрос о том, как

отличить хорошие субоптимизации от плохих. Эта возможность положена в основу математической теории субоптимизации, которую мы приводим в приложении к следующей главе.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Braybrooke D., Lindblom C. E., *Strategy of Decision*, New York, Free Press, 1963, pp. 71, 74.
2. Там же, с. 40.
3. Там же, с. 48—57. См. также Wolfson R. J., Carroll T. M., Ignorance, Error, and Information in the Classic Theory of Decision, *Behavioral Science*, 21, 2 (March 1976), pp. 107—115.
4. Churchman C. W., *The Challenge to Reason*, New York, McGraw-Hill, 1968, p. 2.
5. Там же, с. 4—5, 15—16.
6. Shaffer L. L. D., Collins R. B., Automobiles and the Scrap Steel Industry of Oregon, *Oregon Business Review*, 29, 8 (August 1970).
7. Huysmans J. H., *The Implementation of Operations Research*, New York, Wiley, 1970, p. 18.
8. Fischer G. H., The Analytical Bases of Systems Analysis, 1966, The Rand Corporation, Santa Monica, Calif., in Cleland D. I., King W. R. (eds.), *Systems, Organizations, Analysis, Management: A Book of Readings*, New York, McGraw-Hill, 1969, pp. 206—215.
9. Lifson M. W., Value Theory, in English J. M. (ed.), *Cost-Effectiveness. Economic Evaluation of Engineered Systems*, New York, Wiley, 1968, ch. 6.
10. McKean R. N., *Efficiency in Government Through Systems Analysis*, New York, Wiley, 1958, pp. 29—30.
11. McKean R. N., Criteria, in Quade E. S. (ed.), *Analysis for Military Decisions*, Chicago, Rand McNally, 1967, ch. 5.
12. Hitch C. J., McKean R. N., *The Economics of Defense in the Nuclear Age*, New York, Atheneum, 1967, ch. 9.
13. Riggs J. L., *Production Systems, Planning, Analysis and Control* (2nd. ed.), New York, Wiley, 1976, p. 124.
14. Kazanowski A. D., A Standardized Approach to Cost-Effectiveness Evaluations, in English J. M. (ed.), ch. 7.
15. Fishburn P. C., Methods of Estimating Additive Utilities, *Management Science*, 13, 7 (March 1967).
16. Fishburn P. C., *Utility Theory and Decision Making*, New York, Wiley, 1970.
17. Kendall M. G., *Rank Correlation Methods* (4th ed.), London, Griffin, 1970.
18. Young S., Organization as a Total System, *California Management Review*, 10, 3 (Spring 1968).
19. Ackoff R. L., The Development of Operations Research as a Science, in Schuchman A. (ed.), *Scientific Decision Making in Business*, New York, Holt, Rinehart and Winston, 1963, p. 59—60.
20. См. п. 12, с. 129.
21. Quade E. S., Methods and Procedures, in Quade E. S. (ed.), *Analysis for Military Decisions*, Chicago, Rand McNally, 1967, p. 159.
22. Cox T., Lowry T., *Operations Research: Systems and Suboptimization*, School of Business Administration, California State University, Sacramento, Calif., January 1971, p. 15.
23. См. п. 12, с. 129.
24. См. п. 11, с. 90.
25. См. п. 21, с. 160.
26. Miller D. W., Starr M. K., *Executive Decisions and Operations Research* (2nd ed.), Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall, 1969, p. 56.

27. Mishan E. J., Cost-Benefit Rules for Poorer Countries — A Review Article, *Canadian Journal of Economics*, 4, 86—98 (January — February 1971).
28. См. п. 12, с. 131.
29. См. п. 21, с. 162.
30. См. п. 12, с. 130.
31. См. п. 26, с. 50.
32. Там же, с. 56—57.
33. Abernathy W. J., Rosenbloom R. S., Parallel Strategies in Development Projects, *Management Science*, 15, 10 B-486 — B-505 (June 1969).
34. Marschak T, Glennan T. K., Jr., Summers R., Strategy for R & D: Studies in the Microeconomics of Development, New York, Springer-Verlag, 1967.
35. Simon H. A., Administrative Behaviour (3rd ed.), New York, Macmillan, 1977.

#### Дилемма между сложностью и простотой

Саймон утверждает<sup>1)</sup>, что изучение систем является нашим «ответным действием на насущную необходимость понять природу феномена сложности и научиться оперировать им» [1]. Быть может, именно это замечание и вызвало появление данной книги. До тех пор пока мы не поймем, что такое сложность и как с ней обращаться, мы не в состоянии решать возникающие перед нами задачи.

Для того чтобы понять феномен сложности, объяснить его и научиться действовать в сложных условиях, нужно найти подходящее толкование данного термина. В том случае, когда мы сталкиваемся с необычно большой задачей, мы пытаемся прежде всего найти в ней некий порядок, структуру; мы ищем в задаче то, что нам уже знакомо, то, что мы когда-то изучали. Рис. 8.1 и 8.2 иллюстрируют наше продвижение от качественных наблюдений явлений к пониманию и объяснению имеющихся между ними взаимосвязей. Такие объяснения используются для упрощения сложных ситуаций. Они должны обладать достаточной степенью общности и отражать будущий ход развития. Общность необходима для использования одной и той же основы при объяснении близких по своей природе, но различных по форме явлений. Когда же толкование обладает еще и силой предвидения, это по существу уже руководство к действию.

#### Склонность к упрощению и склонность к усложнению

Сколь-либо эффективное действие невозможно, если мы упрощаем реальность, которая на самом деле все усложняется. Связи между системами и внутри систем становятся все многочисленнее. В поисках ответов на возникающие вопросы люди

---

<sup>1)</sup> Simon H. A., The Architecture of Complexity, *Proceedings of the American Philosophical Society*, 106, 6, 467—487 (1962). (С разрешения автора и American Philosophical Society, Philadelphia.)

часто стремятся к получению простых ответов на сложные вопросы. Такое стремление было названо верой в то, что «любой может разработать неплохую программу действий» [2].

Данный подход используется теми, кто стремится в своей деятельности к *упрощениям*. Люди, разделяющие такую точку зрения, считают, что большинство проблем можно решить, достаточно лишь искоренить то или иное зло. Такая тенденция таит в себе множество подводных камней. «Считается простым то, что фактически является новым и трудным для понимания» [2].

Тех, кто не идет по такому пути, относят к сторонникам сложного. Такие люди понимают, что мир становится все более сложным, а стратегии действий, не учитывающие сложность реального мира, неизбежно обнаружат свою ограниченность.

Итак, существует дилемма между простотой и сложностью. Подобная дилемма возникла при обсуждении проблемы единства науки (см. гл. 2).

## Наука и простота <sup>1)</sup>

Должна ли наука быть простой? Или же она должна быть сложной, как сложен мир? Является ли простота необходимостью, роскошью или пороком? И можно ли определить степень простоты на основании объективной меры, или такое определение всегда субъективно?

Франк сказал, что без простоты нет науки. Если мы добавим, что подобным же образом и без науки нет простоты, то мы окажемся на пути к пониманию взаимосвязи науки и простоты.

Оправданность поиска простоты в науке иногда подвергается сомнению на основании того, что мир действительно сложен. Но такие сомнения порождаются лишь извращениями правильной по сути идеи. Не простота науки ограничивается простотой мира, а скорее простота мира ограничивается простотой науки. Я не имею под этим в виду, что мир сложен лишь до тех пор, пока мы его не упростим. Мир не прост и не сложен вне рассматриваемой системы. Мир имеет столько различных ступеней сложности, сколько в нем различных структур, и имеет столько различных структур, сколько имеется различных возможных путей описания реального мира. Вне науки или иного способа организации знаний нет ни простоты, ни сложности. Предполагать, что простая система наверняка ошибочна, если сам по себе мир сложен,—значит предполагать, что простая система всегда должна быть ошибочна, а вот сложная система в силу одной своей сложности верна. Мир действительно так же прост, как и любая правильная система, но он и столь же сложен, как и любая правильная система. И он столь же правилен, сколь и неправилен, столь же согласован, сколь и несогласован, как и любая реальная система. Эти термины приложимы к реальному миру лишь косвенно, поскольку связаны лишь с рассуждениями о мире. Не следует избегать возможностей по упрощению из-за боязни, что мир сложен.

Далее, действительно ли столь важен вопрос о простоте? По-видимому, вера в возможность упрощения и надежда на его полезность естественны.

<sup>1)</sup> Goodman N., Science and Simplicity, Morgenbesser S. (ed.), Philosophy of Science Today, © 1967, New York, pp. 68—69. (С разрешения Basic Books, Inc., Publishers, New York)

Цель науки состоит в построении формальной системы<sup>1</sup>, адекватной реальности. Всякие усилия по упрощению такой системы заключаются лишь в стремлении сделать ее более подходящей и удобной. Предписание достичь истину, не обращая внимания на простоту, принимает форму заповеди не признавать никаких кумиров, кроме истины. Я считаю, что поиск адекватной системы — это и есть поиск истины. Однако набор частных истины еще не есть наука. Наука предполагает систематизацию, а систематизация неотделима от упрощения. И если открытие возможности обойтись без одной из аксиом арифметики Пеано или возможности определить один из трех интегралов уравнений движения системы в терминах остальных двух не кажется столь уж важным, то лишь из-за невольного сравнения с огромностью уже выполненной работы по систематизации знаний, состоящей в получении большого количества теорем из сравнительно малого количества аксиом. Стремление к экономии далеко не всегда уместно, но полное ее игнорирование привело бы к желанию использовать везде изначальные термины и факты, отказаться от всего, что вводится по определению и доказывается, т. е. привело бы к игнорированию всех систем вообще. Без простоты нет науки.

## Иерархические структуры и иерархические классификации

Понятие иерархии было введено в гл. 2. Оно подразумевает порядковую классификацию, где уровни подчиняются друг другу по некоторому определенному принципу. Поскольку этот термин происходит от греческого *ιєραρχία*, что означает определенный порядок, соподчиненность, концепция иерархии была распространена на любой согласованный порядок объектов.

В гл. 3 мы различали «иерархические структуры» и «иерархические классификации». Первые связаны с естественными формами в том виде, в каком они имеются в физических и биологических системах. Последние имеют отношение к схемам организации, созданным человеком для целей управления и исследования. Любая разработанная человеком схема классификации являет собой пример «иерархической классификации» [3]. Традиционная таксономия находит приложение в системах классификации в ботанике и зоологии. Ее назначение — объяснение взаимосвязей между природными видами. Как дальнейшее развитие традиционной таксономии была создана числовая таксономия, в основу которой положено существование искусственных иерархий среди систем. Дальнейшее изучение значения и роли таксономии проводится в гл. 18.

При исследовании фактора сложности следует отметить дуализм, допускающий как развитие в направлении систем более высокого уровня, так и «диссипативный энтропийный процесс», ведущий к упадку — переходу систем на более низкий уровень. Согласно дуализму, здесь справедливы как теория эволюции, так и второй закон термодинамики. Данный дуализм важен при объяснении процесса изменения строения как Вселенной, так и человеческих сообществ, в которых сосуществуют высокие и



низкие уровни сложности и где потоки энергии могут переводить систему в состояния с большой и малой энтропией и даже в состоянии равновесия [4].

Таким образом, современное понятие иерархии шире исходного. Иерархия подразумевает концептуальные рамки для построения сложных систем из простых. В свою очередь существование естественных или искусственно созданных иерархий означает возможность расчленения сложных систем на подсистемы.

Саймон определяет систему «организованной сложности» как

...нечто, составленное из большого количества частей, которые взаимодействуют нетривиальным образом. В таких системах целое означает больше, чем отдельные его части, не в метафизическом, а в прагматическом смысле. Даже если известны свойства частей и законы их взаимодействия, далеко не просто вывести свойства целого [5].

Иерархия помогает нам организовать, понять, изучить феномен сложности. Применительно к системам иерархия проявляется в следующем:

1. Система всегда составлена из других систем.
2. Для каждой определенной системы всегда может быть найдена другая система, ее охватывающая. Лишь такая абстракция, как универсальная система, содержит все системы, не являясь ничьей частью.
3. Из двух данных систем система, включающая в себя другую, называется системой высшего уровня по отношению к системе, которую она содержит; последнюю называют системой низшего уровня.
4. Иерархия систем существует вследствие того, что системы более низкого уровня являются составными частями систем более высокого уровня.
5. Системы низшего уровня в свою очередь составлены из других систем и, следовательно, их также можно рассматривать как системы высшего уровня по отношению к содержащимся в них системам более низкого уровня.

## Иерархия целей и процесс проектирования систем

При наличии иерархии систем их цели могут быть также иерархически упорядочены.

Цели систем высокого уровня будем называть целями высшего уровня, цели систем низкого уровня соответственно целями низшего уровня. Цели высшего уровня далеко не всегда лучше целей низшего уровня. Для правильного учета всех целей системы может быть построена система приоритетов, или весовая функция.

Для иерархии систем необычным является положение, когда цели систем или цели в иерархии целей независимы друг от друга. До тех пор пока допускается независимость целей систем, их относительные веса не могут быть учтены одной функцией аддитивного вида. Читателям, интересующимся методами комбинирования критериев, целей и весов, следует обратиться к гл. 11.

Теория мотивации Маслоу является хорошо известным приложением концепции иерархии потребностей и отражает смысл приоритетов в побуждениях человека [6]. В широко известном исследовании [7] концепция данной иерархии была использована при объяснении причин удовлетворенности своим трудом и производительности, а также причин невыхода на работу для различных групп работающих.

С философской и методологической точек зрения общая теория систем и системный подход не предполагают наличия ограничения на количество систем в иерархии. Иными словами, теоретически всегда может быть найдена система более высокого уровня, в которой содержатся системы низших уровней. Один из наиболее важных принципов системного подхода состоит в отрицании ограничений на рассматриваемую иерархию систем, что подготавливает путь к учету максимально возможного количества факторов и элементов при проектировании систем. Более детально данный вопрос изложен в работе [43].

## **Декомпозируемые, приближенно декомпозируемые и недекомпозируемые системы**

«В иерархических системах мы можем делать различие между взаимодействиями подсистем, с одной стороны, и взаимодействиями внутри подсистем (например, частей подсистемы) — с другой» [8]. Саймон различает декомпозируемые, приближенно декомпозируемые и недекомпозируемые системы.

Декомпозируемые системы — это такие системы, в которых подсистемы, или компоненты, можно рассматривать относительно независимо друг от друга. Примером декомпозируемой системы является разреженный газ, так как межмолекулярные силы (силы, связывающие отдельные частицы газа) можно считать пренебрежимо малыми по сравнению с внутримолекулярными силами. В приближенно декомпозируемых системах «взаимодействия между подсистемами слабы, но не пренебрежимо малы». Системы, оказывающие непосредственное воздействие на другие системы или зависящие от других систем, относятся к недекомпозируемым.

Большинство иерархических систем можно считать приближенно декомпозируемыми системами, по крайней мере в течение

коротких промежутков времени их функционирования. Саймон приводит в качестве примера здание, температура во всех комнатах которого различна. В течение короткого промежутка времени и по крайней мере в первом приближении температура в комнатах не изменится. Но с течением времени и в предположении наличия внешней изоляции температура комнат будет выравниваться. Теплообмен происходит медленно, он не интенсивен, но и не пренебрежимо мал, поскольку существует связь между комнатами.

Социальные системы и организации также можно считать приближенно декомпозируемыми системами. «Внутрикомпонентные связи обычно сильнее межкомпонентных». В обширном штате промышленной компании существует тесная связь между сотрудниками одного отдела, но связь сотрудников разных отделов гораздо слабее [9]. Мы уже отмечали в данной главе, что иерархия помогает «организовать, понять и изучить феномен сложности». Саймон вновь акцентирует внимание на «упрощении в описании сложных систем, проистекающем из иерархической структуры последних» [10]. Для понимания природы приближенно декомпозируемых систем мы вначале лишь очертим существующие здесь основные проблемы, т. е. прежде всего обратим внимание на взаимодействие между компонентами, а не на их внутреннюю структуру. В том как раз и состоит принцип разделения между межкомпонентными связями (низкой частоты) и внутрикомпонентными связями (высокой частоты). Реализация этого принципа и позволяет нам (в первом приближении) сконцентрировать внимание на межкомпонентных связях, не рассматривая пока внутрикомпонентные [11].

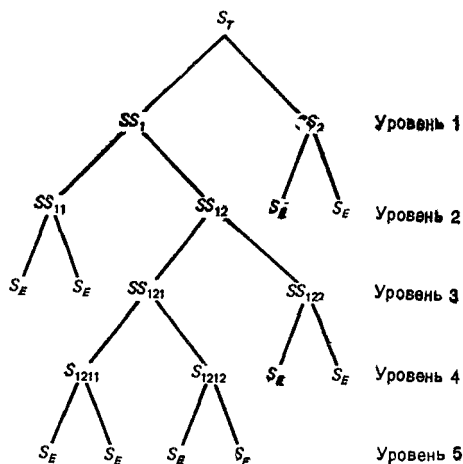
## Композиция и декомпозиция<sup>1)</sup>

Декомпозиция означает деление системы на подсистемы. Декомпозиция может быть «физической», или «материальной», когда мы разбиваем вазу на куски, либо «концептуальной», как в случае с математической моделью. Существует много путей декомпозиции системы. Вследствие того что в результате каждой декомпозиции создается свой, отличный от других, набор подсистем, заключения о свойствах декомпозированной системы могут быть сделаны лишь после точного определения избранного способа декомпозиции.

<sup>1)</sup> Заимствовано из работы Toda M., Shuford E. M., Jr., *Logic of Systems: Introduction to a Formal Theory of Structure, General Systems*, 10, 3—27 (1965), © Decision Sciences Laboratory, Electronic Systems Division, Systems Command, U. S. Air Force, L. G. Hancoff Field, Bedford, Mass. (Используется с разрешения.)

Декомпозиция систем «неорганизованной сложности» приводит к возникновению неограниченного количества составляющих, не все из которых обязательно являются подсистемами. Система же «организованной сложности» может быть декомпозирована лишь на конечное число подсистем, простейшая из которых является элементарным, неделимым целым (элементом) и не может быть декомпозирована.

Рис. 14.1. Дерево декомпозиции системы [12].



Назовем декомпозируемую систему полной системой и обозначим ее  $S_T$ . Группу подсистем, являющуюся результатом декомпозиции, будем называть множеством подсистем и обозначим  $[SS]$ , где  $SS_i$  — подсистема данного множества подсистем. Применяя к произвольной системе  $S_T$  декомпозицию, получим множество подсистем  $[SS_i]$ , где  $i = 1, 2, \dots, n$ . Мы можем осуществить дальнейшую декомпозицию полученных подсистем. В таком случае каждая система  $SS_i$  будет декомпозирована на множество подсистем  $[SS_{ij}]$ , где  $j = 1, 2, \dots, m$ . Мы будем говорить о системах, обозначенных одним индексом, как о системах уровня 1; о системах, обозначенных двумя индексами, как о системах уровня 2. При проведении дальнейшей декомпозиции количество индексов, как и номер уровня, увеличивается на единицу при осуществлении каждой операции декомпозиции. На некотором конечном уровне процесс декомпозиции окончится. Этот уровень будет соответствовать разложению полной системы  $S_T$  на элементарные составляющие  $S_E$ . Итак, мы имеем конечное дерево декомпозиции, которое может выглядеть так, как показано, например, на рис. 14.1 [12]. Такое изображение в виде дерева становится полезным при применении математических методов к исследованию декомпозиции, как показано в

приложении к данной главе. Современные взгляды на теорию иерархических структур изложены в гл. 3; см. также литературу, приведенную к указанной главе, начиная с работы [52]. Исчерпывающая библиография по данному вопросу содержится в работе [43].

## Иерархия задач и методов их решения <sup>1)</sup>

Определение задачи как простой или сложной еще не позволяет выбрать метод для ее решения. Необходимо классифицировать задачи более четко. Такой цели хорошо служит дихотомия на хорошо и плохо структурированные задачи.

Плохо структурированные задачи подобны «непрограммируемым решениям», описанным в гл. 9. В соответствии с определением Саймона задача является плохо структурированной в той мере, в какой она оригинальна, неповторяема и решалась ранее. Форма ее постановки, возможно, не соответствует требованиям известных методов.

С другой стороны, хорошо структурированная задача может быть уподоблена «программируемым решениям» Саймона [13]. Возможно, задача уже и решалась ранее. Постановка ее ясна и соответствует требованиям известных методов решения задач. Как утверждает Ньюэлл:

Задача хорошо структурирована в той степени, в какой она удовлетворяет следующим критериям:

1. Может быть описана в терминах переменных — скалярных или векторных, — имеющих числовое значение.
2. Цели могут быть определены с помощью ясной и четкой целевой функции, например максимизации прибыли или минимизации затрат.
3. Имеются алгоритмы получения числового решения [14].

Хорошо структурированные задачи могут быть решены с помощью алгоритмов, тогда как плохо структурированные задачи поддаются решению лишь с помощью эвристик. По мере перехода от первых ко вторым точность формулировки задачи, точность процедуры ее решения и строгость доказательства того факта, что получено именно решение, падают. Методы решения можно оценивать по двум критериям: общности и эффективности. Общность связана с объемом множества задач, к решению которых приложим данный метод. Эффективность же определяется возможностями метода получать решение. Эффективность метода может быть более точно определена на основе следующих показателей:

- 1) вероятности успеха в получении решения;

---

<sup>1)</sup> Newell A., Heuristic Programming; Ill-Structured Problems, in J. Aro-novsky (ed.), Progress in Operations Research, Vol. III, © 1969, New York. (С разрешения Wiley and Sons, Inc.)

2) области применения, т. е. сколь велико количество задач, которые могут быть решены данным методом;

3) качества решений — насколько они близки к оптимальным;

4) количества ресурсов (время, объем вычислений, количество итераций, стоимость реализации), необходимых для получения решения.

Общность метода может быть определена с помощью:

1) спектра задач, к которым приложим метод;

2) «информационных требований», предъявляемых к задаче.

При использовании методов, обладающих большой общностью, предъявляются низкие требования к информации, в то время как методы решения частных (и более структурированных) задач накладывают жесткие требования. По мере перехода от более общего метода (например, от алгоритма линейного программирования) к менее общему, такому, как алгоритм решения транспортной задачи, в постановку задачи вводится все больше условий и специальных предположений. Алгоритм целочисленного программирования в свою очередь более специальный (и следовательно, менее общий), чем два предыдущих, так как предполагает наличие дополнительного условия в постановке задачи — требования целочисленности допустимых решений [15].

Примерная взаимосвязь между общностью, эффективностью, специфичностью, сложностью метода и степенью структурирования задачи приведена на рис. 14.2.

1. Когда задача сложна, мало понятна и плохо структурирована, можно использовать методы высокой общности. Этому обычно сопутствуют малая эффективность и малая вероятность достижения успеха. На этом конце спектра задачи неясны, неопределенны, т. е. имеющейся информации недостаточно. Используемые методы предъявляют «низкие требования к внешней среде», т. е. задача ставится путем наложения лишь немногих условий. В этой области для решения задачи необходимо привлекать эвристики и обращаться к интеллекту человека.

2. Если же задача понятна и хорошо структурирована, можно сказать, что ее сложность сравнительно невелика. Для ее решения используются методы низкой общности (высокой специфичности). Эффективность методов (вероятность достижения успеха) возрастает. На этом конце спектра задачи более специфичны, лучше определены и имеющаяся информация должна удовлетворять строгим условиям, вытекающим из постановки задачи. («Методы налагают жесткие требования на окружающую среду».) Для данной области характерно использование алгоритмов. Искусственный и машинный интеллект привлекают

к решению задач, которые «трудны по человеческим меркам», т. е. методы имеют не только высокую эффективность, но и высокую специфичность [16].

Системный анализ и системный подход должны учитывать оба типа методов и оба типа задач.

При работе с большой системой исследователь стремится понизить ее сложность путем проведения различных упрощений.

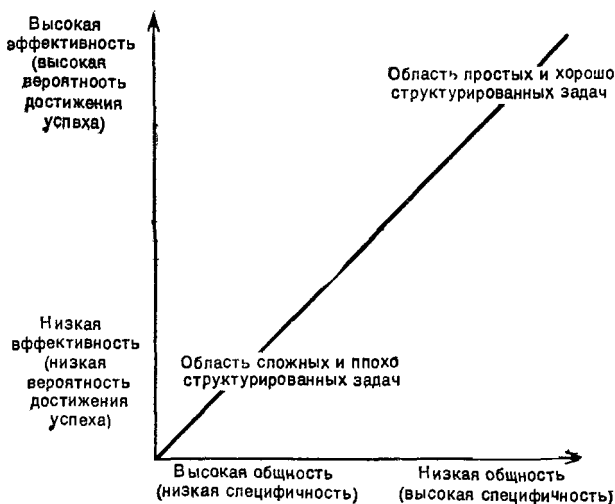


Рис. 14.2. Соотношение между эффективностью и общностью методов решения задач [14].

Он сужает задачу, делая ее более частной. Он работает с подсистемами, которые он может охватить и понять. Он стремится к таким ситуациям, для которых уже имеются известные методы, модели и алгоритмы и где вероятность достижения успеха сравнительно велика.

Как только исследователь решает расширить рамки рассматриваемой им части системы, сложность его задачи повышается. Теперь следует использовать более общие понятия и менее мощные методы. Имеющаяся связь между общностью и эффективностью метода делает вероятность достижения успеха здесь сравнительно низкой.

Для области физических наук характерно сравнительно большее количество хорошо структурированных задач и методов, чем для области общественных наук. Упор в области общественных наук следует сделать на развитие методов работы с плохо определенными задачами: эвристического программиро-

вания, теории размытых множеств, дельфийского метода, моделирования и т. д. В то же время следует сдвигать задачи с одного конца шкалы (где могут быть использованы лишь возможности общего характера) к другому (где имеются более специальные и мощные методы). Иногда то, что мы считаем сложной задачей, оказывается таковой лишь из-за недостатка нашего понимания (см. гл. 9).

Наука находится на грани между стремлением к простоте по пути упрощений реального мира и стремлением к адекватности своих методов реальному миру, которая теряется при чрезмерных упрощениях.

## Сложность и приобретение знаний, экспертиза

Понятие иерархической структуры используется также при объяснении процесса приобретения знаний экспертами и выполнения ими экспертизы. Введение иерархии сигналов, получаемых индивидуумом из окружающего его мира, облегчает процесс накопления знаний. Такой процесс закономерен при приобретении человеком навыков в новой для него области деятельности. Человек обычно быстро определяет, что сигналы, возникающие во внешней среде, иерархически упорядочены по их важности, т. е. одни сигналы являются более важными, чем другие. Различие между подготовленным и неподготовленным работниками проявляется в том, какую степень важности он приписывает сигналам, получаемым как непосредственно от производственного процесса, так и из внешней среды. Подготовленный работник сам управляет порядком в иерархии воздействий, неподготовленный же работник «захлебывается» в этом огромном море разнообразных внешних сигналов. Работник должен научиться игнорировать сигналы, не являющиеся для него важными, и сокращать чрезмерное разнообразие сигналов. «Если сложная структура не переусложнена, т. е. если в ней нет ни одного аспекта, выводимого из других ее аспектов, то такая структура является простейшим описанием реальности — так называемым ее собственным простейшим описанием» [17].

Для начинающих задачи при первом рассмотрении кажутся плохо структурированными и поддающимися решению лишь общими методами. По мере приобретения новичком «знаний о возможных результатах своих действий» и «знаний о том, как выполнять работу» накапливается опыт. При этом решения становятся более структурированными и исследователь создает специальные методы, которые имеют более ясные и четкие формулировки, поддаются программированию и алгоритмизации.



Он формирует специальные методы, подходящие для использования в особых ситуациях. Его возможности решать задачи увеличиваются. Эффективность методов растет по мере роста их специализации. Новичок становится «экспертом» [18].

Избирательность, или выбор относительной значимости сигналов, важна при формировании решения, так как достижение успеха зависит в большой степени от способности ЛПР придать каждому биту информации соответствующий ему относительный вес. Такой принцип реализован в моделях принятия решений, которые используют деревья решений и иерархии критериев для представления того, как индивидуум осуществляет свой выбор в многомерной ситуации (см. гл. 11). В данном случае используются также модели согласования и модели передачи информации. Такие модели важны для объяснения того, как ЛПР уменьшает информационную сложность решаемой задачи. Они могут дать ключ к пониманию того, что же отличает хорошего эксперта от плохого. Вопросы достижения согласия и экспертизы подробно обсуждаются в гл. 16 и 17.

Принцип декомпозируемости и иерархические структуры используются при составлении программ для ЭВМ. Последние достижения в данной области стимулировали усилия по разработке метода программирования, который был бы «эффективным, легко модифицируемым, гибким и общим». Было создано так называемое структурное проектирование [19], или структурное программирование. Данный подход отводит важнейшее место модульному принципу организации, который включает принципы иерархической организации. Рассматривая программу как набор команд для ЭВМ по преобразованию входных данных в выходные, метод структурного проектирования программы состоит в объединении команд в модули, модулей — в модули более высокого уровня. Таким путем логика программы может быть выражена с помощью иерархии уровней, состоящих из программных модулей. Для модулей характерны свойство их взаимосвязи, а также свойство «звенности», связанное с группировкой элементов. Цель структурного проектирования состоит в создании совокупности функционально связанных модулей при малой степени дублирования функций. Такие свойства обеспечивают гибкость программ и облегчают труд по их составлению. Была предпринята попытка сравнить три характеристики машинных программ, составленных обычным путем и путем структурного проектирования. Это были: удобство отладки, удобочитаемость и удобство записи в машинных кодах. Предварительное исследование показало преимущества структурного проектирования над другими методами составления программы, хотя для полного подтверждения этих результатов следует еще проделать большую работу [20].

## Сложность производственных систем

Принцип разделения труда приводит к иерархической структуре частей и компонентов системы. Такое иерархическое упорядочение облегчает организацию рациональной последовательности производственных операций при массовом производстве. Каждому рабочему поручаются для исполнения простые задачи, не требующие особого профессионального мастерства. Необходимая предварительная подготовка упрощается за счет ограничения объема необходимых профессиональных навыков. Однако следует иметь в виду вредные последствия излишне мелкого дробления работы на отдельные небольшие монотонные операции. Укрупнение же работы олицетворяет собой иерархический принцип.

Уровни механизации и автоматизации связаны с иерархией увеличивающейся сложности, которая отражает переход от ручных операций к автоматическому управлению и включает уровни, где достижимо адаптивное обучение [21]. Механизация и автоматизация изучались также с точки зрения уменьшения профессионализма при движении от верхних уровней к нижним. Сравнительные исследования производственного процесса в прошлом и настоящем показали, что уровень сложности работ повысился [22], физические трудозатраты упали, в то время как умственные затраты возросли. Следовательно, должны быть созданы методы подготовки работников именно в условиях возрастания сложности работы. Решению данной задачи может способствовать построение иерархии умственных функций, требуемых для переработки информации, связанной с конкретной задачей индивидуума. Умственные функции можно классифицировать в зависимости от их сложности, где сложность упорядочена в иерархию уровней интеграции. Эти уровни зависят от следующих факторов:

1) компонентов системы связи, которые используются при решении задачи: рецептора, эффектора и центральных механизмов;

2) количества, типа и сложности умственных функций, называемых «умственными тербליгами»;

3) объема предварительной подготовки, искусства, знаний, требуемых для выполнения терблигов [23].

Умственные терблиги организованы в четырехуровневую иерархию, которая позволяет описать сложность работы, операций и задач и измерить их с привлечением такого параметра, как количество обрабатываемой информации.

Работы и производственные операции могут быть упорядочены в соответствии с двумя различными иерархиями:

1. Иерархией физических потребностей, которая отражает степень физических усилий, нужных для выполнения работы. Традиционные методы исследований и измерений в сфере производства основаны на такой иерархической схеме.

2. Иерархией умственных требований, которая зависит от умственных усилий, необходимых для решения задачи. Модель обобщенного поведения и классификация информации в соответствии с упомянутыми выше умственными требованиями позволяют измерять умственные затраты на выполнение работы.

Комбинация физических и умственных компонентов определяет концепцию *объективной сложности*, о которой говорят, что она «внутренне присуща природе и содержанию задач». Объективная сложность может быть противопоставлена иным типам сложности, которые уже упоминались в гл. 3 в связи с ОТС и структурой систем. В указанной главе пояснялось, что концепция субъективной сложности связана с концепцией объективной сложности. Концепция же *познавательной*, или *концептуальной*, сложности выбрана для лучшего отображения характеристик, связанных с субъективной сложностью, а именно способности оператора к сопоставлению и объединению получаемой им новой информации с уже имеющимся у него запасом знаний. Познавательная сложность также отражает степень и глубину такого объединения. Упомянем и о двух других типах сложности. *Сложность окружения* зависит от факторов, связывающих характеристики обработки информации с уровнями концептуальной структуры и достигнутой степени интеграции. *Организационная сложность* определяется количеством различных взаимосвязей между членами организации и набором конкретных задач, которые следует решить. Результаты исследований и библиография по данным вопросам имеются в работе [24].

Автор считает, что можно ввести концепцию *полной сложности производственных систем*, которая охватывала бы все типы сложности, определенные выше. Первый шаг к построению теории таких систем состоял в построении модели объективной сложности, которая может быть описана в терминах физических и умственных компонент. Объективная сложность, таким образом, определяется как энтропия задачи и измеряется, исходя из характеристик процесса обработки информации. Модель была обоснована эмпирически. Она допускает существование теоремы о емкости канала связи, с помощью которой определяется максимальная рабочая емкость, или полные затраты физических и умственных усилий, которые требуются от человека при выполнении им работы. Модель допускает также оценку той доли емкости, которую следует использовать в течение длительного времени или даже постоянно. Она позволяет оценить воздействие технологии на две компоненты сложности, рассматривае-

мые как раздельно, так и вместе [24]. За дальнейшими разъяснениями читателю следует обратиться к гл. 18.

За последнее время формально оформился новый класс задач, называемых задачами дезагрегирования. В рамках данного класса задач изучается процесс декомпозиции агрегированных планов высокого уровня на более детализированные планы. Такой процесс имеет особую важность для организаций в производственной сфере и в сфере услуг, где планирование на верхнем уровне должно быть преобразовано в детальные решения на нижних уровнях организации. Новейшие результаты в данной области, связанные с таксономией задач дезагрегирования, приведены в работе [37].

## **Выбор между централизацией и децентрализацией**

Проблема выбора между централизацией и децентрализацией до самого последнего времени не привлекала внимания теоретиков в области общей теории систем [25]. Однако эта проблема весьма важна для формализации качества сложности и для построения иерархии структур систем. Литература, посвященная принципам организационного управления, содержит лишь некоторые довольно неопределенные правила и обобщения о том, когда следует стремиться к централизации, а когда к децентрализации и каковы достоинства и недостатки этих принципов управления. Имеющиеся рекомендации, к сожалению, не обеспечивают:

- 1) возможности обоснованного выбора между централизацией и децентрализацией;
- 2) количественных мер достоинств и недостатков конкретной организационной структуры;
- 3) процедур эффективной координации решений децентрализованных элементов организации для достижения целей организации в целом.

Вопрос о выборе между централизацией и децентрализацией, вставший первоначально в 50-е годы, сейчас вновь привлёк к себе внимание благодаря ряду новых теоретических результатов, полученных с тех пор и позволивших по-иному взглянуть на проблему. Мы попытаемся достаточно широко осветить данную проблему, но хотим предупредить о математических трудностях, стоящих на этом пути.

1. Проблема выбора между централизацией и децентрализацией очень тесно связана с проблемой сложности. По мере разрастания организации должны искать новые пути совершенствования планирования, координации и управления своей деятельностью. Организации должны управлять своими подсистемами и направлять их на достижение целей организации в

целом. Как это реализовать наилучшим образом — вот в чем состоит главная задача общей теории систем.

2. В течение долгого времени экономисты при объяснении деятельности экономических подсистем по достижению общей цели системы в целом (функционирование механизмов ценообразования в рыночной экономике) исходили из концепции «невидимой руки» Адама Смита. В 50-х годах были построены модели распределения ресурсов применительно к промышленной фирме. В этих моделях были определены математические условия, или «цены», на основе которых лица, управляющие подразделениями фирмы, могли принимать решения, оптимизирующие общую для фирмы функцию прибыли. Используя итеративную процедуру, включающую неизвестное заранее количество вычислительных операций, руководители могли получать решение, близкое к глобальному оптимуму [26—28].

3. В 60-х годах принцип декомпозиции в линейном программировании [29] дал возможность по-новому подойти к проблеме децентрализации. Алгоритм декомпозиции предоставляет возможность достигать глобального оптимума при условии выполнения ограничений, накладываемых как на уровне системы в целом, так и на уровне подсистем. Возникали опасения, что линейная целевая функция не может быть взята в качестве общей целевой функции фирмы. Тогда алгоритм декомпозиции был распространен на случай задачи квадратичного программирования, что позволило учесть зависимость между спросом и предложением [30]. Дальнейшие исследования показали, что вследствие несовершенства рыночного механизма ценообразования цены сами по себе не могут обеспечить нужной децентрализации и что на подсистемном уровне должны быть наложены дополнительные ограничения. Такие ограничения должны привести к получению решения, являющегося оптимальным для системы в целом [31]. В одной конкретной модели такие дополнительные ограничения были сформулированы в виде приоритетного упорядочения целей. Приоритеты назначались исходя из относительной важности целей. Было показано, что такой метод позволяет получить «хорошую децентрализованную координацию» [32].

4. В 70-х годах выявились новые подходы к проблеме создания эффективной процедуры глобальной оптимизации для координации принимаемых децентрализованно решений. Одна из декомпозиционных моделей, называемая моделью декомпозиции общей цели (GGD — Generalized Goal Decomposition Model), рассматривает организацию как иерархию с тремя уровнями. Такая модель является уточнением рассматривавшихся ранее моделей, в которых учитывалось лишь два уровня деятельности — уровень руководства фирмы и уровень ее под-

разделений. Данная модель распределения ресурсов строится без глобальной целевой функции и показывает, что решения зависят от структуры организации — количества уровней — и от допустимой степени декомпозиции. В предыдущих моделях субоптимизацией нельзя было удовлетворительно управлять в тех случаях, когда оптимум не достигался за разумное число итераций. Декомпозиционный алгоритм направлен на получение того же решения, которое было бы получено в системе без проведения декомпозиции. По самой формулировке данной модели подразделения организации не обязательно должны участвовать в процессе оптимизации общей целевой функции системы. Скорее подсистемы стремятся минимизировать отклонения от целей своего уровня, установленных центральным органом управления. Итак, в той же степени, в какой не существует глобальной целевой функции, можно говорить, что модель допускает субоптимизацию. Данный подход, а также факт структурной обусловленности решений являются важными новыми моментами в постановке задачи выбора между централизацией и децентрализацией [33—35]. Применительно к вопросам распределения ресурсов правительственными органами управления целевые функции подсистем выражаются в терминах функции «относительного сожаления», связанной с измерением различия между результатом, который может быть реально достигнут при данных бюджетных ассигнованиях, и результатом, получаемым при неограниченном бюджете. Таким образом, центральный орган управления старается минимизировать «неудовлетворенность подсистем выделенными им из бюджета средствами» и хочет достигнуть наилучшего распределения ресурсов между подсистемами. Данная модель находит применение при распределении бюджетных ассигнований [36]. В связанных с этим исследованиях задача дезагрегирования была поставлена в такой форме, которая позволяет учесть процесс преобразования общего плана, созданного на верхнем уровне организации, в детализированные решения нижних уровней [37].

Модели, созданные за последние несколько лет, продвигают вперед теорию, от которой можно ожидать обоснованных рекомендаций по выбору централизации или децентрализации. В частности, эти модели

1) способствуют пониманию формальных механизмов координации подразделений организации при децентрализованном управлении [38];

2) создают основу для рассмотрения иных организационных форм достижения целей. Вплоть до последнего времени данный вопрос рассматривался с излишне общих позиций, без привлечения конкретных примеров, когда можно было бы срав-

нить эффект от различных степеней централизации и децентрализации;

3) позволяют сравнить результаты использования различных форм организации по

а) степени достижения оптимума или степени отклонения от оптимума;

б) типу требуемой информации, такой, как теневые цены, приоритеты целей, экономическая и техническая информация и т. д.;

в) затратам времени и ресурсов для достижения цели.

Дальнейшее изложение вопросов централизации и децентрализации, но уже в общем контексте кибернетики и управления основано на исследованиях Бира и приводится в гл. 18.

## Декомпозиционный алгоритм линейного программирования

Декомпозиционный алгоритм линейного программирования является по существу формализацией процесса корректировки, при помощи которого подразделения фирмы регулируют свои решения. Данный процесс направлен на получение такого решения, которое удовлетворяло бы требованиям (ограничениям), налагаемым как на уровне подразделений, так и на общесистемном уровне. Декомпозиционный алгоритм позволяет достичь оптимизации путем проведения ряда субоптимизаций в рамках конкретной модели. Как мы увидим, ряд получаемых выводов свидетельствует о правильности предположений, изложенных в предыдущем разделе.

Детальное описание алгоритма не является нашей целью. Скорее наши усилия направлены на то, чтобы пояснить результаты применения алгоритма для решения конкретной задачи. Особое внимание мы уделим объяснению процесса того, как подразделения фирмы согласуют свои предварительные решения с требованиями руководства фирмы, как эти решения видоизменяются при нарушении общесистемных ограничений и, наконец, как весь процесс сходится к «предельному субоптимуму».

Как вскоре поймет читатель, термин «предельный субоптимум» используется вместо термина «предельный оптимум» вполне намеренно.

Предлагаемая задача <sup>1)</sup> состоит в следующем:

максимизировать  $P = x_1 + x_2 + 2y_1 + y_2$  (1)

<sup>1)</sup> Задача взята из работы Baumol W. J., Fabian T., *Decomposition Pricing for Decentralization and External Economics*, *Management Science*, 11, 1, 1—32 (September 1964), © 1964, The Institute of Management Sciences. (Используется с разрешения)

$$\text{при ограничениях} \quad x_1 + 2x_2 + 2y_1 + y_2 \leq 40, \quad (2)$$

$$x_1 + 3x_2 \leq 30, \quad (3)$$

$$2x_1 + x_2 \leq 20, \quad (4)$$

$$y_1 \leq 10, \quad (5)$$

$$y_2 \leq 10, \quad (6)$$

$$y_1 + y_2 \leq 15, \quad (7)$$

$$x, x_2, y_1, y_2 \geq 0.$$

Данная модель может описывать ситуацию, в которой находится фирма, имеющая два филиала. Первый филиал производит продукты в количествах  $x_1$  и  $x_2$ , а второй — продукты в количествах  $y_1$  и  $y_2$ . Выражение (1) является целью на уровне системы в целом.

Выражение (2) представляет собой ограничение, которое должно быть удовлетворено на общесистемном уровне при нормировании ресурсов, общих для обоих филиалов фирмы. Неравенства (3) и (4) показывают, что первый филиал использует два ограниченных ресурса в указанной пропорции для производства продуктов в количествах  $x_1$  и  $x_2$ . Аналогичным образом три ресурса, используемых для производства продуктов  $y_1$  и  $y_2$  вторым филиалом, имеются также в ограниченных количествах, как показывают неравенства (5) — (7). Алгоритм решения данной задачи является исчерпывающей иллюстрацией процесса оптимизации иерархии систем, цели которых взаимосвязаны.

Декомпозиционный алгоритм предписывает рассматривать решения на двух уровнях: общесистемном и подсистемном. На общесистемном уровне задача состоит в максимизации целевой функции  $P$ , на которую наложено шесть ограничений. На уровне подсистем задача имеет следующий вид:

$$\text{максимизировать} \quad P_1 = x_1 + x_2$$

$$\text{при ограничениях} \quad x_1 + 3x_2 \leq 30,$$

$$2x_1 + x_2 \leq 20,$$

$$x_1, x_2 \geq 0,$$

$$\text{максимизировать} \quad P_2 = 2y_1 + y_2$$

$$\text{при ограничениях} \quad y_1 \leq 10,$$

$$y_2 \leq 10,$$

$$y_1 + y_2 \leq 15,$$

$$y_1, y_2 \geq 0$$

В данной модели цели и ограничения каждой системы записаны в явном виде. Для того чтобы решить задачу, алгоритм



ориентирует подсистемы на решение их собственных задач, т. е. подсистемам следует оптимизировать свои собственные решения, не принимая во внимание цели и ограничения общесистемного уровня. Подсистемы 1 и 2 принимают решения по производству продуктов в количества  $x_1$ ,  $x_2$  и  $y_1$ ,  $y_2$  соответственно для того, чтобы оптимизировать свои индивидуальные целевые функции  $P_1$  и  $P_2$ .

Количества продуктов, которые предполагают производить подсистемы, однако, не оптимизируют целевой функции системы в целом, так как оказываются нарушенными ограничения на ресурсы на общесистемном уровне.

Подсистемам дается указание пересмотреть свои предложения с тем, чтобы удовлетворить общесистемные ограничения и в то же время выполнить собственные индивидуальные ограничения. Следуя по такому пути, подсистемы сокращают количества производимых ими продуктов как на подсистемном, так и на общесистемном уровне. На рассмотрение представляется новый цикл предложений подсистем — теперь уже предложений, удовлетворяющих ограничениям и на нижнем, и на верхнем уровне. Объемы производства теперь в большей степени удовлетворяют целям системы, чем после второго цикла предложений, но еще не позволяют достичь уровня, полученного на первом цикле предложений подсистем. Различные предложения, результаты и продвижение к конечному результирующему объему производства приведены в табл. 14.1.

Более подробно с этим методом можно ознакомиться, обратившись к оригинальной работе [39]. Интересно проследить результаты, получаемые цикл за циклом.

Начальный цикл лишь инициирует выполнение последующих циклов и другого значения не имеет.

Второй цикл, в котором предложения по объему производства подсистем обозначены как  $X_{(2)}$  и  $Y_{(2)}$ , показывает, что подсистемы оптимизированы и ресурсы на нижнем уровне используются оптимально. Однако предложенные подсистемами решения не удовлетворяют общесистемным ограничениям из-за того, что требуется слишком большой общий ресурс на общесистемном уровне. Оптимизация подсистем проводилась на соответствующих подсистемных уровнях, но их предложения привели к неоптимальному решению для системы в целом. Теперь подсистемы должны подчинить свои требования требованиям системы в целом. В частности, ограничение, налагаемое на общий ресурс, должно иметь приоритет над ограничениями, налагаемыми на ресурсы подсистем. Поэтому подсистемы пересматривают свои прежние предложения и предлагают новые объемы производства  $X_{(3)}$  и  $Y_{(3)}$  в третьем цикле и  $X_{(4)}$  и  $Y_{(4)}$  в четвертом цикле соответственно.

Таблица 14.1

Предложения подсистем и результаты различных этапов работы (циклов) алгоритма декомпозиции

| Предложения                                          | Цикл 1<br>(начальный)                            | Цикл 2                                            | Цикл 3                                           | Цикл 4<br>(конечный)                              |
|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| $X_{(i)} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$ | $X_{(1)} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$ | $X_{(2)} = \begin{bmatrix} 6 \\ 8 \end{bmatrix}$  | $X_{(3)} = \begin{bmatrix} 6 \\ 8 \end{bmatrix}$ | $X_{(4)} = \begin{bmatrix} 10 \\ 0 \end{bmatrix}$ |
| $Y_{(i)} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix}$ | $Y_{(1)} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$ | $Y_{(2)} = \begin{bmatrix} 10 \\ 5 \end{bmatrix}$ | $Y_{(3)} = \begin{bmatrix} 0 \\ 5 \end{bmatrix}$ | $Y_{(4)} = \begin{bmatrix} 10 \\ 5 \end{bmatrix}$ |
| Прибыль $P_1$ , ед.                                  | 0                                                | 14                                                | 14                                               | 10                                                |
| Прибыль $P_2$ , ед.                                  | 0                                                | 25                                                | 5                                                | 25                                                |
| Прибыль $P =$<br>$= P_1 + P_2$ , ед.                 | 0                                                | 39                                                | 19                                               | 35                                                |
| Удовлетворены ли<br>ограничения под-<br>системы 1    | Да                                               | Да                                                | Да                                               | Да                                                |
| Удовлетворены ли<br>ограничения под-<br>системы 2    | Да                                               | Да                                                | Да                                               | Да                                                |
| Удовлетворены ли<br>ограничения сис-<br>темы         | Да                                               | Нет                                               | Да                                               | Да                                                |

Предложения для третьего цикла удовлетворяют ограничениям как подсистем, так и системы в целом, но являются лишь субоптимальными ввиду возможности получения лучших результатов во втором и четвертом циклах (см. табл. 14.1). Объем производства, получаемый в третьем цикле, является субоптимальным для подсистемы 2 и для полной системы. Наконец, возникает новое предложение на четвертом цикле, которое является субоптимальным для подсистемы 1 и оптимальным для подсистемы 2 по сравнению с результатами предыдущих циклов. Объем производства полной системы дает прибыль, равную 35 ед., на общесистемном уровне и является наилучшим результатом из тех, которые могут быть достигнуты при данных ограничениях на общий ресурс.

Приведенный пример показывает, что

1) оптимизация на уровнях подсистем не гарантирует достижения целей системы в целом. Решения, удовлетворяющие целям подсистем, могут в то же время нарушать цели системы в целом;

2) оптимизация на общесистемном уровне, проводимая при удовлетворении как общесистемных, так и подсистемных ограничений, приведет к достижению целей, обусловленных ограни-

чениями и на общесистемном, и на подсистемном уровнях. Получаемые при этом результаты не совпадают с результатами решения подсистемами своих собственных задач изолированно друг от друга, без учета ограничений более высокого уровня. Так, в четвертом цикле подсистема 1 имеет объем производства 10 ед. вместо 14 ед., полученных в двух предыдущих циклах. К тому же конечный результат, получаемый на общесистемном уровне и составляющий объем производства в 35 ед., ниже результата, полученного в конце второго цикла. В тот момент ограничение общесистемного уровня не было удовлетворено (цели системы в целом были нарушены, что привело лишь к субоптимизации). Итак, окончательное решение — это многосторонний компромисс.

Для максимально полного достижения целей системы более высокого уровня подсистемы не должны были бы лимитироваться своими собственными ограничениями. В свою очередь, общий объем производства в системе понижается по сравнению с объемом, который мог бы быть получен при отсутствии ограничений, общих для обеих подсистем. Итак, лишь субоптимум приводит к одновременному достижению целей как полной системы, так и ее подсистем. При решении задачи оптимизации сложной системы рекомендуется следующее:

1. По возможности должна быть построена модель взаимосвязей в системе. В такой модели в явном виде должны быть отражены цели каждой из систем, подлежащие оптимизации.

2. Цели каждой системы должны быть выражены в одних и тех же единицах для того, чтобы было возможно рассматривать компромиссные решения.

3. Оптимизируемая функция должна быть такой, чтобы был возможен простой пересчет ее значений с целью облегчения для ЛПР сравнения различных вариантов.

4. Окончательное решение (т. е. наилучшее решение для полной системы) будет таким, что при нем не обязательно достигается оптимум каких-либо систем или подсистем. Окончательное решение скорее всего будет хуже глобального оптимума и такое ухудшение производится для согласования целей полной системы и ее подсистем.

5. Должна быть установлена иерархия целей для того, чтобы предоставить ЛПР возможности по выбору и эффективным заменам для получения наилучшего решения.

6. Стремление к оптимизации систем (т. е. к оптимуму системы без учета каких-либо возможностей по субоптимизации) может быть вредным и противоречащим наиболее разумным интересам участников системы. Компромисс, предполагающий комбинирование субоптимумов, может в большей степени соответствовать функции взвешенных целей.

7. Рекомендуется, чтобы вместо оптимизации ЛПР осмоторительно стремились к субоптимизации. Комбинация субоптимумов может быть лучшим решением, чем комбинация оптимумов, которая не удовлетворяет взаимосвязям ограничений или целей, свойственных системной иерархии.

## Выводы

Ясно, что наша задача состоит в управлении «миром сложности» безотносительно от его происхождения (естественное или искусственное). Было описано несколько методов работы с феноменом сложности с присущими ему связями и взаимозависимостями. Наибольшие усилия сейчас направлены на разработку эмпирических подходов, дающих возможность работать с феноменом сложности на *микроуровне*, например в областях образования, профессиональной подготовки, программирования для ЭВМ, производственных систем. Здесь сложность можно «увидеть», «прочувствовать», понять и измерить. Подобные подходы можно распространить и на *макроуровень* — на случай формирования стратегий в больших системах. Такие усилия, однако, будут успешными лишь в том случае, если мы будем помнить предостережение Бира о том, что решения, пригодные для моделей, могут оказаться неподходящими в реальных ситуациях. Давайте же не попадаться в ловушку часто внешне привлекательной замены реальной сложности ее более простыми модельными суррогатами [40].

## Приложения

### Элементы математической теории субоптимизации <sup>1)</sup>

В гл. 13 мы описали задачи оптимизации и дали рекомендации по совершенствованию процедур субоптимизации. Соображения, изложенные в данной главе, дают нам возможность более точно учесть взаимосвязи между системой и составляющими ее подсистемами. В частности, мы обращаемся к элементам математической теории субоптимизаций. Мы пытаемся получить здесь математические утверждения, обосновывающие справедливость достижения целей на уровнях, отличных от общесистемного.

*Состояние* системы может быть определено в терминах «всего множества измеряемых характеристик, описывающих поведение системы в данный момент времени» [41]. Следовательно, если речь идет о системе, всегда имеется в виду ее состояние,

<sup>1)</sup> В подготовке этого и следующего раздела принимала участие Тони Кокс. Предполагается, что читатель знаком с элементарными понятиями теории множеств.

и в дальнейшем это не будет специально оговариваться. Состояние полной системы будет обозначаться  $S_T$ , состояние  $i$ -й подсистемы —  $SS_i$ . Можно сделать следующие предположения о состояниях систем.

Во-первых, каждое данное состояние  $S_T$  определяет состояние всех подсистем. Кроме того, если известно, что определенная подсистема находится в данном состоянии, то это одновременно служит и описанием соответствующего состояния  $S_T$ .

Во-вторых, должна существовать возможность объединения любых двух подсистем в систему, их содержащую. Должны иметься возможности описания системы через ее части и средства выражения свойств системы через свойства ее частей. Также необходимо располагать средствами для описания структурного построения системы из ее подсистем. Итак, большое значение придается операциям объединения частей в целое и расчленения целого на части.

Используя данные предположения, мы можем приступить к формулированию ряда утверждений о структурных свойствах систем. Во-первых, мы должны развить язык описания проблемы. Очевидно, мы не можем использовать обычные математические понятия типа «меньше», «равно» и «больше», так как имеем дело с состояниями абстрактных сущностей. Эту трудность мы обойдем, дополнив данные математические понятия представлениями об «эффективности» или «полезности». Итак, когда будем использовать понятие «равно», следует иметь в виду «равную эффективность» (полезность), «меньше» будет означать «меньшую эффективность» (полезность) и «больше» — «большую эффективность» (полезность).

Для установления предпочтений между состояниями системы должны быть определены условия упорядоченности, подобные тем, которые формулировались в гл. 8 в связи с проблемой измерения.

**Транзитивность.** Если состояние  $A$  системы имеет предпочтение перед состоянием  $B$  системы, а состояние  $B$  — перед состоянием  $C$ , то состояние  $A$  имеет предпочтение перед состоянием  $C$  и отношение предпочтения транзитивно.

**Симметричность.** Если состояние  $D$  системы отличается от состояния  $C$ , а состояние  $C$  отличается от состояния  $D$ , то отношение отличия симметрично.

**Асимметричность.** Если состояние  $D$  имеет предпочтение перед состоянием  $C$ , а состояние  $C$  не имеет предпочтения перед состоянием  $D$ , то отношение предпочтения асимметрично.

Данные отношения будут использоваться в следующем разделе при формулировании математических утверждений о состояниях множества систем.

Из определения декомпозиции мы знаем, что множество подмножеств, обусловленное декомпозицией, эквивалентно (в обычном математическом смысле) декомпозируемой системе. Пересечения же различных элементов множества подмножеств, обусловленного декомпозицией, дают в результате пустые множества. Таким образом, не возникает никаких сомнений в том, что множество подмножеств является более удобным для анализа объектом, чем система в целом, поскольку все подсистемы попарно не связаны.

Теперь мы можем приступить к решению задач оптимизации и субоптимизации, принимая во внимание выясненные нами взаимосвязи между системами и подсистемами. Из предыдущих глав читатель знает, что задача оптимизации предполагает нахождение минимума или максимума целевой функции при учете всех возможных вариантов и состояний природы. Ввиду ограниченной точности и неполноты имеющейся информации оптимизация редко приводит к убедительным результатам вне математических моделей. Задачи реального мира не так уж часто можно поставить как задачи оптимизации в том виде, в котором мы их рассматривали. Поэтому нам приходится довольствоваться лишь субоптимальными решениями, принимая решения, ограниченные довольно жесткими рамками. Приводимые ниже утверждения поясняют данный факт.

Здесь, как и выше, мы должны рассматривать лишь состояния систем и множества подсистем, которые вызваны декомпозицией. Отметим оптимальное состояние системы двумя «звездочками», а субоптимальное состояние системы — одной. Под субоптимальным состоянием мы имеем в виду результат наилучшей процедуры субоптимизации, возможной в рамках данной системы. Например,  $SS^*$  обозначает субоптимальное состояние подсистемы  $SS$ , а  $[SS_i^*]$ , где  $i = 1, \dots, n$ , обозначает оптимальные состояния множества подсистем системы  $S_T$ .

## Некоторые утверждения теории субоптимизации

**УТВЕРЖДЕНИЕ 1.** *Субоптимальное состояние системы, состоящей из подсистем, менее эффективно, чем оптимальное состояние такой системы:*

$$[SS_i]^* < [SS_i]^{**}. \quad (1)$$

**Обоснование.** Данное утверждение следует непосредственно из принципа рациональности, в соответствии с которым ЛПР стремится к достижению оптимального состояния системы. По определению субоптимальное состояние не столь эффективно, как оптимальное состояние.

**Следствие.** Утверждение 1 может быть распространено на систему, охватывающую все системы, — полиую систему; субоп-

тимальное состояние полной системы менее эффективно, чем ее оптимальное состояние:

$$S_T^* < S_T^{**}. \quad (2)$$

**УТВЕРЖДЕНИЕ 2.** *Оптимизация каждой подсистемы из множества всех подсистем приводит к субоптимальному состоянию системы, составленной из всех этих подсистем:*

$$\bigcup_{i=1}^n [SS_i^*] \Rightarrow [SS_i]^*. \quad (3)$$

*Обоснование.* Оптимизация означает максимизацию (или минимизацию) целевой функции каждой подсистемы без учета целей других подсистем и целей системы, состоящей из всех таких подсистем. Это приводит к субоптимизации множества подсистем.

*Следствие.* Оптимизация каждого множества подсистем приводит к субоптимальному состоянию полной системы:

$$\bigcup_{i=1}^n \{[SS_i]^*\} \Rightarrow S_T^*. \quad (4)$$

*Обоснование.* Данное следствие является лишь обобщением утверждения 2. Вместо того чтобы работать с системой, составленной из подсистем, мы рассматриваем полную систему, объединяющую все системы.

**УТВЕРЖДЕНИЕ 3.** *Оптимальное состояние каждой подсистемы в системе менее эффективно, чем оптимальное состояние системы:*

$$\bigcup_{i=1}^n [SS_i^{**}] < [SS_i]^{**}. \quad (5)$$

*Обоснование.* Принимая во внимание утверждение 1

$$[SS_i]^* < [SS_i]^{**}$$

и утверждение 2

$$\bigcup_{i=1}^n [SS_i^{**}] \Rightarrow [SS_i]^*,$$

мы получаем утверждение 3 из свойства транзитивности отношения предпочтения.

*Следствие.* Оптимизация каждого из множеств подсистем приводит к результату менее эффективному, чем оптимальное состояние полной системы:

$$\bigcup_{i=1}^n \{[SS_i]^{**}\} < S_T^{**}. \quad (6)$$

*Обоснование.* Данное утверждение следует из свойства транзитивности и из следствий утверждений 1 и 2

$$S_T^* < S_T^{**} \text{ и } \bigcup_{i=1}^n \{[SS_i]^{**}\} \Rightarrow S_T^*.$$

Следовательно, справедливо соотношение (6).

**УТВЕРЖДЕНИЕ 4.** *Оптимизация состояния полной системы приводит к субоптимальным состояниям множества составляющих полную систему подсистем:*

$$S_T^{**} \Rightarrow \bigcup_{i=1}^n \{[SS_i]^*\}. \quad (7)$$

*Обоснование.* В целях удовлетворения ограничений на уровне системы составляющие ее подсистемы не достигают своих собственных оптимумов.

*Следствие.* По той же причине оптимизация состояния любой системы приводит к субоптимальным состояниям составляющих ее подсистем:

$$[SS_i]^{**} \Rightarrow [SS_i]^*. \quad (8)$$

**УТВЕРЖДЕНИЕ 5.** *Оптимизация каждой из подсистем полной системы не приводит к столь же хорошему состоянию полной системы, как в случае субоптимизации подсистем:*

$$\bigcup_{i=1}^n \{[SS_i]^{**}\} < \bigcup_{i=1}^n \{[SS_i]^*\}. \quad (9)$$

*Обоснование.* Из следствия утверждения 3 имеем

$$\bigcup_{i=1}^n \{[SS_i]^{**}\} < S_T^{**}.$$

Следовательно, данное утверждение справедливо в силу утверждения 4 и транзитивности отношения.

*Следствие 1.* Оптимизация каждой из подсистем системы не дает в результате столь же хорошего состояния системы, как их субоптимизация.

*Обоснование.* Мы можем рассуждать так же, как и в предыдущем случае. Из утверждения 3

$$\bigcup_{i=1}^n \{[SS_i]^{**}\} < [SS_i]^{**}$$

и из следствия утверждения 4

$$[SS_i]^{**} \Rightarrow [SS_i]^*$$

мы приходим к требуемому результату

$$\bigcup_{i=1}^n \{[SS_i]^{**}\} < [SS_i]^*. \quad (10)$$



**Следствие 2.** Оптимизация на уровне подсистем менее эффективна, чем субоптимизация на том же уровне. Это является переформулировкой и обобщением утверждения 5 и его следствия 1.

Данные утверждения и следствия из них не являются адекватной заменой соответствующих теорем и доказательств. Эти утверждения должны быть проверены и подтверждены эмпирически. Ясно, что требуется дальнейшая работа для развития строгой теории субоптимизации. Между тем данные утверждения создают концептуальную основу для обсуждения достоинств и недостатков субоптимизации в сравнении с глобальной оптимизацией в случае сложных систем. Данные утверждения дополняют принципы, обсуждавшиеся в предыдущей главе в связи со стремлением к более качественной субоптимизации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Simon H. A., The Architecture of Complexity, *Proceedings of the American Philosophical Society*, 106, 6, 467—482 (1962).
2. Ways M., Don't We Know Enough to Make Better Public Policies, *Fortune Magazine* (April 1971).
3. Wilson D., Forms of Hierarchy. A Selected Bibliography, *General Systems*, 14, 3—15 (1964).
4. Laszlo E., A General Systems View of Evolution and Invariance, *General Systems*, 19, 37—43 (1974); Patee H. H. (ed.), *Hierarchy Theory*, Braziller, N. Y. 1973.
5. Simon H. A., см. п. 1, с. 86. О различии между системами организованной и неорганизованной сложности см в гл. 2.
6. Maslow A. H., *Motivation and Personality*, Harper and Row, N. Y., 1954.
7. Clark J. V., Motivation in Work Groups: A Tentative View, *Human Organization*, 19, 199—208 (1960—1961).
8. Simon H. A., см. п. 1, с. 105.
9. Там же, с. 103, 106.
10. Там же, с. 108.
11. Там же, с. 106—108.
12. Toda M., Shuford E. H., Jr., Logic of Systems: Introduction to a Formal Theory of Structure, *General Systems*, Yearbook of the Society for General Systems Research, 10, 8—9 (1965).
13. Simon H. A., *The Shape of Automation*, Harper and Row, New York, 1965, p. 58.
14. Newell A., Heuristic Programming: Ill-Structured Problems, in Aronovsky J. (ed.), *Progress in Operations Research*, Vol. III, Wiley, New York, 1969, p. 365.
15. Там же, с. 371—373. Различие между алгоритмами и эвристиками обсуждалось в гл. 9.
16. Там же, с. 374.
17. См. п. 1 с. 110.
18. См. п. 14, с. 375, 404. О происхождении понятий «знание о результатах» и «знание о выполнении» см. гл. 17.
19. Yourdon E., *Design of On-Line Computer Systems*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1972; Kernighan B., Plauger B., *Software Tools*, Addison-Wesley, New York, 1976; Kernighan B., Plauger B., *The Elements of Programming Style*, McGraw-Hill, New York, 1974; Yourdon E., *Techniques*

- of Program Structure and Design, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1975. [Имеется перевод: Иодан Э. Структурное проектирование и конструирование программ. — М.: Мир, 1979.] Yourdon E., Gane C., Sarson T., Learning to Program in Structured COBOL, Yourdon, N. Y., 1976.
20. Braidwood L. L., Kuhn R. W., A Comparison of Computer Algorithm Representation Methods, B. A. 210 Research Methodology Project; Hanger L., Structured Design and Complex Systems, B. A. 214 Paper, School of Business and Public Administration, California State University, 1976.
  21. Bright J., Automation and Management, Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1958.
  22. Crossman E. R., Laner S., The Impact of Technological Change on Manpower and Skill Demand: Case Study Data and Policy Implications, University of California, Berkeley, Calif., 1969; Van Gigch J. P., The Impact of Technology on the Mental Content of Work in Industrial Operations, unpublished Ph. D. dissertation, Oregon State University, Corvallis, Ore., 1968.
  23. Van Gigch J. P., A Model and Applications of a Model for Measuring the Information Processing Rates and Mental Load of Complex Activities, *Canadian Operational Research Journal*, 8, 2 (July 1970); 3 (November 1970); Van Gigch J. P., Changes in Mental Content of Work Exemplified by Lumber Sorting Operations; Process Computer's Contribution to the Reduction of Mental Effort and to the Handling of Systems Malfunctions, *International Journal of Man-Machine Studies*, 3, 13—20 (1971).
  24. Van Gigch J. P., The Physical and Mental Load Components of Objective Complexity in Production Systems, *Behavioral Science*, 21, 6, 490—498 (November 1976).
  25. Mesarovic M. D., Macko D., Takahara Y., Theory of Hierarchical, *Multilevel Systems*, Academic Press, New York, 1970. [Имеется перевод: Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. — М.: Мир, 1973.]
  26. Kuhn H. W., Tucker A. W., Non-Linear Programming, in Neyman J. (ed.), Proceedings of the Second Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, University of California Press, Berkeley, Calif., 1951.
  27. Koopmans T. C., Analysis of Production as in Efficient Combination of Activities, in Koopmans T. C. (ed.), Activity Analysis of Production and Allocation, Cowles Commission Monograph No. 13, Wiley, New York, 1951.
  28. Marschak T., Centralization and Decentralization in Economic Organizations, *Econometrica*, 27, 3 (July 1959).
  29. Dantzig G., Wolfe P., Decomposition Principles for Linear Programming, *Operations Research*, 8, 1 (1960).
  30. Hass J. E., Transfer Pricing in a Decentralized Firm, *Management Science*, 14, 6, B-311 — B-331 (February 1968).
  31. Whinston A., Price Guides in Decentralized Organizations, in Cooper W. W., Leavitt H. J., Shelley M. W., II (eds.), New Perspectives in Organization Research, Wiley, New York, 1964, pp. 405—448.
  32. Charnes A., Glower R. W., Kortanek K. O., Effective Control Through Coherent Decentralization with Preemptive Goals, *Econometrica*, 35, 2 (April 1967).
  33. Ruefli T. W., A Generalized Goal Decomposition Model, *Management Science*, 17, 8, B-505 — B-518 (April 1971).
  34. Ruefli T. W., Behavioral Externalities in Decentralized Organizations, *Management Science*, 9, 5, B-649 — B-657 (June 1971).
  35. Maier S. F., Vander Weide J. H., Capital Budgeting in the Decentralized Firm, *Management Science*, 23, 4 433—443 (December 1976).
  36. Cassidy R. G., Kirby M. J. L., Raikes W. M., Efficient Distribution of Resources Through Three Levels of Government, *Management Science*, 17, 8, B 462 — B-473 (April 1971).

37. Krajewski L. J., Ritzman L. P., Disaggregation in Manufacturing and Service Organizations: Survey of Problems and Research, *Decision Sciences*, 8, 1, 1—18 (January 1977).
38. Morris W. T., Decentralization in Management Systems: An Introduction to Design, Ohio University Press, Athens, 1968; Kochen M., Deutsch K. W., Decentralization by Function and Location, *Management Science*, 19, 8, 841—856 (April 1973).
39. Baumol W. J., Fabian T., Decomposition Pricing for Decentralization and External Economies, *Management Science*, 11, 1—3 (1964).
40. Beer S., The World We Manage, *Behavioral Science*, 18, 3, 198—209 (May 1973); Beer S., Managing Modern Complexity and The Surrogate World We Manage in Platform for Change, Wiley, New York, 1975, 219—241, 396—416.
41. См. п. 12, с. 10.
42. Понятия «композиция» и «композировать», которые следует рассматривать как обратные понятиям «декомпозиция» и «декомпозировать», также исследуются в работе Toda M., Shuford E. H., См. п. 12, с. 9.
43. *International Journal of General Systems*, Special Issue: System Complexity, 3, 4, 195—271 (1977).
44. В результате стремления охватить все большее число систем с целью достижения локального оптимума задача приобретает необозримую сложность. Итак, возникает вопрос: какими рамками ограничить рассматриваемую систему? В работе Checkland [*International Journal of General Systems*, 3, 127—134 (1976)] вводится понятие релевантной системы, на основе которого определяются удовлетворительные уровни *целостности* (при рассмотрении целостных систем человеческой деятельности), *практичности* и *разрешимости* (при рассмотрении желаемых и допустимых изменений соответственно) и *реализма* (соглашения между концептуальной моделью и желаемой реальной системой). См. также гл. 1 и 4.

### Введение

В данной главе мы исследуем проблемы, возникающие при попытках внесения каких-либо изменений в существующее положение дел — попытках, которые неизбежно сопровождают процесс реализации проекта системы. Невозможно внедрить систему без нарушения статус-кво. Следовательно, процесс реализации проекта связан с наличием какого-то противодействия даже при наиболее благоприятных обстоятельствах. Мы попытаемся объяснить природу источников сопротивления на стадии реализации, найти пути его преодоления и объяснить механизм принятия перемен (то, как перемены в конце концов принимаются большинством людей и становятся нормой).

Первая часть данной главы посвящена изучению противоречий, возникающих между ученым и руководителем организации, или ЛПР. Их противоречия являются типичными противоречиями между агентом и реципиентом процесса изменений.

Вводимая ниже матрица реализации отражает четыре возможных типа отношений, которые существуют при реализации проекта между ученым и руководителем. Возможность «взаимопонимания» создает наиболее благоприятные условия для принятия руководителем и дальнейшего претворения в жизнь предлагаемых ученым изменений.

Отдельные разделы посвящаются путям реализации организационных изменений и нововведений. И наконец, рассматривается конкретный пример, дающий представление о некоторых проблемах, стоящих на пути тех, кто предпринимает попытки осуществить организационные изменения.

### Взаимодействие между ученым и ЛПР

О реализации можно говорить как о процессе, наступающем после принятия руководителем предлагаемых изменений. Ученые (социологи, экономисты) самым тесным образом связаны с практическим применением своих теоретических построений. Поэтому крайне важно исследовать и понять факторы, влияющие на процесс внедрения. Человек как элемент организации

отличается как от индивидуума, мыслящего экономическими категориями, так и от индивидуума с рациональным, строго логическим мышлением. Если бы человек руководствовался только экономическими соображениями, то от него следовало бы ожидать решений, максимизирующих экономический эффект или полезность. Приняв рационалистическую модель человека, естественно было бы рассчитывать на следование последнего в рассуждении и поведении строгим правилам. К сожалению, человек не столь однозначен. Поэтому мы должны выяснить такие моменты: каких принципов необходимо придерживаться при реализации решений? Какими подходами следует воспользоваться для создания более благоприятных возможностей принятия изменений? Теоретические исследования проблем реализации направлены на то, чтобы дать ответы на ряд таких вопросов. Начинать следует с рассмотрения взаимосвязей, существующих между исследователем и ЛПР.

Исследователь, или ученый, и ЛПР (руководитель, администратор) — две стороны, участвующие в процессе реализации проекта. Исследователь является штатным специалистом, наделенным определенными функциональными обязанностями, а руководитель — это «человек действия», поведение которого определяется существующей в данное время обстановкой. Исследователь создает проекты нововведений, которые, по его мнению, может использовать ЛПР. Вначале, когда мы рассматриваем лишь взаимосвязи исследователя и ЛПР, анализ процесса реализации есть не что иное, как анализ ситуаций, в которые вовлечены две стороны — проектировщик и заказчик, разработчик решений и их исполнитель. Такие ситуации возникают и в производственном процессе, и в жизни, и в частном предпринимательстве, и в области государственного управления.

## Матрица взаимосвязи ученого и ЛПР для этапа реализации проекта (матрица реализации)<sup>1)</sup>

Чёрчмен и Шейнблат ввели в рассмотрение специальную матрицу, отображающую типы отношений (взаимосвязей), имеющих место при работе ученого и ЛПР. Возможные взаимосвязи представлены четырьмя клетками матрицы (рис. 15.1).

Состояние  $A' B'$  называется *состоянием с разделенными функциями*. Данное состояние соответствует положению, когда только ученый ответствен за внесение изменений на стадии реализации. Что касается разработки нового метода, то ее следует

<sup>1)</sup> Churchman C. W., Schainblatt A. H., The Researcher and the Manager: A Dialectic of Implementation, *Management Science*, 11, 4, B-69 — B-87, © 1965, The Institute of Management Sciences. (Публикуется с разрешения.)

проводить с учетом реальных условий с тем, чтобы метод можно было применить без дополнительной корректировки. Функции ученого простираются от выдвижения идеи до создания системы, ее реализующей. Руководитель (ЛПР) принимает план, созданный исследователем, и должен быть в состоянии реализовать его. Функции сторон полностью разделены: работа одной стороны начинается по окончании работы другой.

Состояние  $A'B$  — *состояние убеждения*. Оно отражает ту точку зрения, в соответствии с которой внедрение остается в большой степени искусством ученого в понимании проблем ЛПР. Ученый должен быть в состоянии передать свои результаты ЛПР и убедить его в разумности принятия своих рекомендаций. Убеждение состоит в доказательстве руководителю

|      | $B$                | $B'$                |
|------|--------------------|---------------------|
| $A$  | Взаимное понимание | Коммуникация        |
| $A'$ | Убеждение          | Разделенные функции |

Рис. 15.1. Матрица реализации [1]. (Используется с разрешения.)

необходимости принятия тех или иных действий и преодолении инертности мышления руководителя. Изменение отношения личности к проблеме, уменьшение в силу различия характеров их влияния на производственный процесс, уменьшение несогласованности «между познавательной, эмоциональной и поведенческой компонентами отношения к проблеме», воздействие на групповую динамику и групповые нормы с целью активного вовлечения ЛПР в процесс реализации — все это находится в сфере действия состояния убеждения — состояния, влияющего на психологические и социальные факторы процесса внедрения [1].

Клетка  $AB'$  матрицы *есть состояние коммуникации*. В этом случае считается, что проблема реализации может быть разрешена, как только ЛПР поймет язык ученого. В данном состоянии решения, предлагаемые учеными, не принимаются, так как исполнители просто не понимают их. Для преодоления этой трудности руководителя необходимо подготовить к пониманию языка, используемого учеными, либо он сам должен прикладывать усилия в этом направлении. Здесь разрыв между двумя сторонами, участвующими в процессе внедрения, ликвидируется за счет нахождения ЛПР подхода к ученому, в то время как в предыдущем состоянии ученый стремился приблизиться к ЛПР.

Концепции состояния коммуникации придерживаются все, кто считает полезной организацию подготовительных курсов для руководящих работников. Такие курсы должны помочь руководителям понять новую программу или новый метод.

Четвертое состояние АВ называется *состоянием взаимного понимания*. Чёрчмен и Шейнблат предостерегают нас, что, несмотря на кажущуюся простоту и естественность названия, мы знаем об этом состоянии очень мало. Различные пути интерпретации данного состояния рассматриваются ниже.

## Природа взаимопонимания

### Взаимопонимание как достижение истины во взаимоотношениях агентов и реципиентов процесса изменений

Реализация во многом зависит от типа взаимосвязи, существующей между сторонами процесса обмена знаниями. Необходимые составляющие компоненты такой взаимосвязи объединяются в концепцию «истины» [2—3].

Истина существует в том случае, когда

1) обе стороны, участвующие в процессе реализации, доверяют рекомендациям друг друга;

2) каждая сторона способна воспринимать мотивации, стремления и ценности другой стороны;

3) каждая сторона понимает свой собственный процесс формирования решений так же хорошо, как и процесс формирования решений другой стороной;

4) те, кто связан с реализацией, участвуют также и в формулировании целей, что необходимо для учета нужд потребителей (реципиентов);

5) потребители вовлекаются в процесс подготовки планов и программ с тем, чтобы привнести свое отношение к нуждам и шкале ценностей, являющейся мерилем успеха реализации;

6) агент процесса изменений способен поставить себя на место потребителя результатов внедрения и мыслить подобно ему.

Уместно спросить: «Не лучше ли потратить время на устранение условий, которые делают необходимым самое стремление к истине, вместо того чтобы стремиться к достижению этой истины?» [3] и «Не лучше ли потратить время на разработку более совершенных методов проверки правильности рекомендаций, даваемых экспертами, чем слепо им верить? Если мы имеем возможность обоснованно подвергнуть сомнению выводы эксперта, то у нас нет необходимости слепо верить ему» [4].

## Взаимопонимание как узаконивание роли планировщика

Узаконивание есть процесс принятия авторитета власти [5]. При взаимосвязях типа «руководство — подчинение» подчиненные оставляют за руководителями право на власть. Подчиненные выполняют приказания руководителя, так как верят в его право приказывать. Такая вера поддерживается несколькими средствами:

- 1) средствами традиций или религии, как в случае власти вождей племен;
- 2) силой закона или системой институтов, что свойственно государственному управлению;
- 3) уважением, например в семейных отношениях;
- 4) совершенствованием профессионального мастерства руководителя.

Взаимосвязь между ученым и ЛПР подобна в некотором смысле взаимосвязи между руководителем и подчиненным. Руководитель не примет никакого плана до тех пор, пока не поверит в его обоснованность. В данном случае процесс формирования положительного отношения ЛПР к плану, выдвигаемому ученым, стимулируется верой и уверенностью, которые накапливаются у ЛПР в течение длительного общения с этим ученым. В предыдущем разделе было показано, что вера может привести к осуществлению надежд обеих сторон процесса реализации при наличии у них взаимного доверия. В гл. 16 мы используем процесс узаконивания как предпосылку к использованию процедур планирования, приемлемых и для разработчиков, и для потребителей.

## Взаимопонимание как конъюнктурный и подсознательный факторы в процессе изменений

Согласно Чёрчмену и Шейнблату, понятия «конъюнктура» и «подсознание» являются наиболее подходящими терминами для описания взаимопонимания.

Как правило, ученый не понимает, на основе чего руководитель принимает решения:

Для ученого с его аналитическим умом большая часть деятельности ЛПР представляется чисто конъюнктурной, и обоснования ЛПР своих решений кажутся ему едва ли настоящими обоснованиями, так как они почти всегда подсознательны. Наука знает очень мало относительно оснований процесса принятия человеком решений... В действительности же наука гордится тем, что есть еще нераскрытые тайны природы [6].

Если состояние взаимопонимания должно, по нашему мнению, занимать главенствующее место, то должны быть приняты и решительные усилия для преодоления описанного



выше разрыва. Для осуществления этого потребуется распространение научного подхода — рационального мышления — на подсознательные процессы принятия ЛПР своих решений, «проникновение хотя бы луча науки в темные коридоры подсознания» [7]. В свою очередь и творческие процессы ученого нуждаются в прояснении.

«Четвертое состояние [в матрице реализации] ... предусматривает интеллектуальную атаку на тайны организационного управления и науки. Что касается организационного управления, то здесь имеется в виду понимание стратегии принятия решения. Если же говорить о науке, то это — понимание процесса творчества» [8].

При окончательном анализе и ученый, и ЛПР участвуют в деятельности, включающей в себя и научное исследование, и искусство руководства. Процесс внедрения останется безрезультатным до тех пор, пока эти две функции разделены: «Два таких специалиста совместно могут более успешно осуществить реализацию проекта, чем каждый из них в отдельности» [9].

Могут быть выявлены некоторые общие принципы действия ученого и ЛПР при реализации проекта. Это проясняет подобные связи в других ситуациях. Ситуация может даже быть расширена до таких рамок, в которых обучающий активно пытается изменить образ поведения обучаемого. В то время как мы стремимся узнать как можно больше о процессе образования, существует еще множество малопонятных «подсознательных факторов», которые важны для процесса обучения.

### Стили познания

Последние теоретические исследования проблем реализации подтвердили важность влияния стилей познания на участников процесса проектирования и реализации.

Вопрос о познавательных стилях уже поднимался в гл. 4 в связи с факторами, влияющими на миропонимание индивидуума. Мы пояснили там, что понятие познавательного, или психологического, стиля относится к «способу, которым индивидуум осуществляет перцептуальную и интеллектуальную деятельность», и что оно может быть определено, исходя из «генетических факторов индивидуума и из факторов, привносимых его окружением, таких, как образование и опыт». Затем мы перешли к описанию результатов исследования относительно того, как влияют познавательные стили на процесс мышления и принятия решений ЛПР. Непосредственно связан с данными вопросами и вопрос о роли познавательного стиля в процессе реализации.

Хини описывал связь между ученым и ЛПР, исходя из уровня организации, где эта связь имеет место. На верхних уровнях организации лица, принимающие решения, имеют дело бо-

льшей частью со слабо структурированными задачами. На нижних же уровнях организации задачи структурированы лучше, могут быть яснее сформулированы и становятся повторяющимися и стандартными. Специалисты по организационному управлению в настоящее время направляют свои усилия на разработку методов решения управленческих задач именно на нижних уровнях организации, где возможно получить точное решение. Однако для достижения истинных успехов в области теории организационного управления ученые должны сконцентрировать свои усилия на решении слабо структурированных задач, встающих перед руководителями высокого уровня, где получение точных и оптимальных решений много сложнее [10]. В науке о методах управления уже рассматривались слабо структурированные задачи, и о ряде успехов в данной области сообщалось в гл. 14.

Хайсменс классифицировал индивидуумов на основе широкого спектра их способностей и стилей рассуждения — от аналитического до эвристического. Он считал, что «аналитическое рассуждение» присуще исследователю, квалифицированному инженеру, аналитику, которые «выделяют в каждой ситуации то главное, что лежит в основе причинных взаимосвязей. Индивидуум, наделенный таким типом образа рассуждений, обычно старается использовать модель в явном виде, часто выражаемую в количественных терминах, с помощью которой формируется основа каждого решения». С другой стороны, «чрезвычайно трудно, если не невозможно, вскрыть механизм, который приводит к решению в результате эвристических рассуждений...<sup>1)</sup> Здравый смысл, интуиция и способность к качественному предвидению эффекта будущих разработок играют важную роль в той степени, в какой эвристический способ рассуждения учитывает именно общность ситуации как единого целого, а не только ее структурные составляющие части» [10].

Проблемы реализации вызваны отсутствием «канала прямой коммуникации», или «возможности прямого взаимопонимания... между людьми, сильно различающимися познавательным стилем» [10, 11]. Хайсменс проверял три гипотезы, подкрепляющие данное утверждение, которые имеют отношение и к матрице

<sup>1)</sup> «Эвристическое рассуждение» не следует путать с «эвристическим программированием», обсуждавшимся в гл. 9 Их связь не подлежит сомнению. «Эвристическое программирование» — метод формализации эвристического рассуждения, которое может быть разбито на ряд различных шагов и приводит в результате к решению. Желательно, хотя и не обязательно, чтобы эти шаги можно было запрограммировать, что позволит использовать ЭВМ и облегчит осуществление всего процесса «Эвристическое программирование» можно рассматривать как «гибрид», возникший на основе, с одной стороны, «аналитического стиля» и, с другой стороны, «эвристического стиля». Оно может служить как бы мостом между ними.

Чёрчмена и Шейнבלата. В этих гипотезах состояние «взаимопонимания» олицетворяет концепцию обоюдности, взаимозависимости познавательных стилей.

Гамильтон и др. также выдвинули гипотезу, состоящую в том, что «несходство познавательных стилей» сторон, участвующих в процессе внедрения, оказывает влияние на получаемый результат. После проведения эксперимента они сделали заключение, что «и стиль представления [предложений и рекомендаций], и познавательный стиль руководителя воздействуют на ход процесса реализации». Однако они выражают «некоторое сомнение в важности согласованности стиля сообщения и стиля познания... для достижения успеха реализации системы» [12]. Исследования Гамильтона и его сотрудников основаны на классификации познавательных стилей, подобной тем, которых придерживаются Чёрчмен и Шейнблат, а также Хайменс. Аналитический и эвристический стили рассуждения Хайменса называются здесь соответственно «логико-аналитическим» и «интуитивно-синтетическим».

Для логико-аналитического процесса характерны анализ, формирование понятий, иерархии, силлогизмов, программирование действий, строгость, общие правила, сравнение и установление различий. Для интуитивно-синтетического процесса характерны ассоциации при заключениях, локальные эвристики, гибкость, приспособляемость... Логический анализ — это процесс разделения целого на части и определения структурных связей между частями. Интуитивный синтез — это процесс объединения в целое группы элементов, структура связей между которыми известна априори [13].

Матрица Чёрчмена — Шейнבלата, приведенная на рис. 15.1, может быть преобразована в матрицу, изображенную на рис. 15.2. В состоянии  $A'B'$  (состояние разделенных функций) исследователю приписывается логико-аналитический (ЛА) познавательный стиль, а руководителю — интуитивно-синтетический (ИС) стиль. В других состояниях либо руководитель, либо исследователь, либо они оба изменяются таким образом, чтобы адаптировать свой стиль к стилю противоположной стороны. Вследствие этого в состоянии убеждения ( $A'B$ ) исследователь приобретает склонность к ИС-стилю и обладает уже комбинированным стилем ЛА/ИС, в то время как в состоянии коммуникации ( $AB'$ ) для руководителя характерен стиль ИС/ЛА, который показывает появление склонности и к ЛА-стилю наряду с изначально присущей склонностью к ИС-стилю. В состоянии взаимопонимания исследователь и руководитель имеют идентичные стили (ЛА/ИС и ИС/ЛА). Хотя данные обозначения весьма ясны и лаконичны, возникает очевидный вопрос относительно способности одного участника процесса реализации проекта подавить более слабый стиль другого участника [13]. Данный вопрос, конечно, относится к числу основных вопросов, возникающих на этапе реализации проекта.

Мак-Кенни и Кин выдвинули гипотезу, которую впоследствии подтвердили экспериментально, относительно того, что познавательные стили можно классифицировать по двум измерениям. Эти измерения зависят от требований, налагаемых имеющейся информацией или побудительными мотивами, такими, как «сбор информации» или «оценка информации». По участию в сборе информации индивидуумов можно охарактеризовать как «прецептивных» или «рецептивных», в то время как по оцениванию информации их можно разделить на «систематизирующих» и «интуитивных». Тогда в соответствии с данной конк-

|           | <i>B</i>                                                                   | <i>B'</i>                                                             |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| <i>A</i>  | <b>Взаимное понимание</b><br>Исследователь - ЛА/ИС<br>Руководитель - ИС/ЛА | <b>Коммуникация</b><br>Исследователь - ЛА<br>Руководитель - ИС/ЛА     |
| <i>A'</i> | <b>Убеждение</b><br>Исследователь - ЛА/ИС<br>Руководитель - ИС             | <b>Разделенные функции</b><br>Исследователь - ЛА<br>Руководитель - ИС |

Рис. 15.2 Матрица реализации, учитывающая познавательные стили [13]. (Используется с разрешения.)

ретной классификацией познавательные стили можно изобразить четырьмя квадрантами на плоскости в двух ортогональных координатах. Тип личности индивидуума может совпасть с любым из этих четырех квадрантов или их комбинаций. Авторы исследования построили и проверили свою модель. Они выделили задачи и классы задач, характерные для каждого стиля. Было сделано заключение относительно того, что люди, обладающие разными познавательными стилями, решают задачи, используя различные подходы [14]. Такие выводы согласуются с исследованиями, описанными выше, где индивидуумы классифицировались по ЛА — ИС-стилям. Совершенно очевидно, что разные подходы к проблеме приводят и к различным стратегиям реализации. Таким образом, упоминание о данном исследовании здесь вполне уместно.

В другой работе показано, как свойства личности, определяющие ее познавательные стили, влияют на стратегии, используемые при выполнении решений на практике. Авторы выделяют четыре типа личности (по Юнгу) [15]:

- 1) ощущение — мышление,
- 2) ощущение — эмоция,

3) интуиция — мышление,

4) интуиция — эмоция.

Они отмечают, что с помощью этих типов описывают не только модели принятия решений, но также и «различные формы организационного проектирования» и «различные формы науки» [16].

Как уже было показано, познавательные стили оказывают сильное влияние на разработку информационных систем организационного управления и, таким образом, влияют на их реализацию [17]. Автор участвует в исследовании, направленном на выявление взаимосвязи между типом личности и теми путями, которыми индивидуум использует информацию при принятии решения и определяет функцию принадлежности размытому множеству типов [18]. (Пояснения данных терминов читатель может найти в гл. 9 и 17.)

Р. Доктор исследует взаимосвязь между типом задач (аналитически-вербальным в сравнении с интуитивно-пространственным) и умственными усилиями, затрачиваемыми индивидуумом на их решение. Результаты этого исследования подтверждают выводы Мак-Кенни и Кина о том, что познавательные характеристики каждого данного индивидуума наилучшим образом подходят для решения различных компонентов задачи. Следовательно, для того, чтобы «охватить все познавательные компоненты задач», организации требуется два типа лиц: ученые-аналитики и руководители-исполнители. Такой вывод действителен и в случае, когда процессом реализации занята целая группа специалистов [19].

Хайсменс напоминает нам о необходимости учета этапа реализации системы уже на стадии проектирования последней, т. е. к процессу реализации следует относиться как к неотъемлемой части процесса проектирования. Для этого требуется, чтобы проектировщик был осведомлен как о технических, так и о психологических ограничениях, которые могут воспрепятствовать эффективному внедрению разработки. Через всю книгу мы пытались провести ту мысль, что проектировщик систем должен обладать и эвристическим, и аналитическим познавательными стилями [20]. Тот факт, что эти два стиля должны быть «повенчаны», даже не нуждается в объяснении. Гораздо труднее представить себе, что они должны существовать в одном индивидууме.

В предыдущих главах мы указывали на то, что аналитический метод и научная парадигма мало подходят для изучения «неделимых целых» образований. Методы исследования мягких систем и системная парадигма в большей степени основаны на интуитивно-синтетическом процессе мышления, описанном выше. Наша критика метода постепенного улучшения систем

(гл. 1) и отдельных улучшений (гл. 13) также основана на этом. Проблема реализации проекта есть проблема достижения нужной взаимосвязи между двумя стилями (аналитическим и эвристическим), так как оба они необходимы для получения результата. Такая комбинация, возможно, даже ближе к реальности, чем мы думаем. Об этом свидетельствует новая концепция теории организаций, названная «ситуационным нормативизмом», которая является по существу синтезом «аналитического и эвристического знания» о ситуации, в которой следует принять решение [21].

### **Взаимопонимание как общепризнанная основа для осуществления изменений**

Достижение состояния взаимопонимания применительно к матрице реализации можно также рассматривать как переход к более совершенной и полной модели организации.

Следуя Вольмеру, мы можем сравнить состояние «разделенные функции» с «бюрократической» моделью организации, в соответствии с которой имеется четкое распределение обязанностей и ответственности каждого члена организации [22]. Члены организации содействуют достижению целей организации, естественным образом выполняя свои обязанности и неся возложенную на них ответственность. Условие выполнения определенной работы эквивалентно условию проявления ответственности. В данной модели проблем, связанных с реализацией, вообще не возникает.

Модель организации, построенная с учетом человеческих отношений, дает возможность отобразить имеющееся сопротивление реализации проекта, чего не учитывает бюрократическая модель, несмотря на четкое описание работ и правил их выполнения. Модель человеческих отношений можно соотнести с состоянием коммуникации в матрице Чёрчмена — Шейнבלата. В рамках данной модели предполагается, что мотивация к реализации является функцией индивидуума и социальной группы, к которой он принадлежит. Следовательно, ключевой фактор при получении результатов состоит во влиянии на нормы и эталоны группы и в установлении каналов коммуникации между исполнителями и ЛПР, между исследователями и ЛПР.

С состоянием убеждения связан процесс, с помощью которого ученый стремится оказать влияние на руководителя и преодолеть психологический барьер последнего к внесению изменений.

Сами по себе ни состояние с разделенными функциями, ни состояние убеждения, ни состояние коммуникации не представляют собой полные модели, адекватные реальности. Фактически они не являются и взаимоисключающими. Коммуникация

и убеждение — это всего лишь шаги в процессе движения к взаимопониманию [23]. Цель взаимопонимания состоит в «достижении признания обществом того факта... что разделение функций исследователя и руководителя в современной бюрократической корпорации может быть преодолено лишь путем признания необходимости тесного контакта исследователя и руководителя» [24].

Что же мы реально подразумеваем под возведением общественного признания в ранг специфического общественного института? Когда в жизнь входят новые методы или процессы, они уничтожают старые методы и процессы и нарушают тем самым имеющуюся стабильность и существующее положение дел. Новый уровень стабильности будет установлен лишь тогда, когда новые методы станут общепризнанными и органически войдут в жизнь. Такой процесс адаптации существен для стадии реализации (см. пример, приведенный в конце данной главы).

## Осуществление организационных изменений

Проблему реализации особенно уместно рассмотреть в связи с осуществлением организационных изменений.

Левит выделяет четыре важных параметра организации:

1. Параметр задачи, который отражает различные виды работ, подлежащих выполнению организациями.

2. Технологический (технический) параметр, связанный с методами и инструментами, используемыми организациями.

3. Структурный параметр, имеющий отношение к системам коммуникации, системам власти, распределения работ и т. д.

4. Человеческий параметр, непосредственно связанный с членами организаций [25].

В зависимости от того, какой из вышеупомянутых параметров подвержен влиянию перемен, можно рассматривать по меньшей мере три типа подходов к осуществлению организационных изменений: технологический, структурный и «человеческий».

Технологический подход призван воздействовать на параметры задач и на технологические параметры. Тейлор является одним из первых сторонников применения данного подхода. Его идеи воплощены в настоящее время в таких областях, как промышленная технология, промышленная психология, управление производством и т. д. Стимулирование широкого распространения современной технологии (рассматривается ниже в данной главе) относится к сфере технологических подходов к организационным изменениям.

Несомненно, что изменения в организационных проектах, связанные с изменениями одного из параметров, влияют и на

другие параметры. Например, внедрение ЭВМ, систем автоматического управления и модернизация производственных процессов оказывают воздействие не только на круг решаемых задач, но и на структуру организации, и на человеческие параметры. Хотя и очевидно влияние параметров друг на друга, направление их «причинных взаимосвязей» еще не понято до конца. В результате разработчики нововведений в организационной сфере вынуждены иметь дело с непредсказуемыми и даже с нежелательными результатами.

Технологический подход к проведению организационных изменений является наименее распространенным. Здесь прежде всего следует отметить игнорирование им человеческого фактора. Этот подход не учитывает «человеческие и социальные проблемы, связанные с влиянием автоматизации... Зачастую он крайне фантастичен в концептуальном и неутешителен в практическом отношении» [26]. Левит, возможно, счел бы эту критику несправедливой: «Сопротивление лучшему по сравнению с имеющимся решению доказывает лишь недостаточность образования тех, кто оказывает это сопротивление. Такое противодействие определено не является признаком того, что имеющееся решение лучше оптимального» [27].

Планирование организационных изменений с помощью технологического подхода порождает наиболее серьезные проблемы реализации.

Структурный подход воздействует на форму организации путем придания особого веса таким ее элементам, как взаимосвязь выполняемых ею работ, пути реализации решений руководства, размещение органов принятия решений и т. п. [28,29]. Различные формы централизации и децентрализации можно распределить здесь по категориям. Одно из самых удачных последних нововведений в области проектирования организаций — концепция управления разработкой проекта, согласно которой горизонтальная иерархия накладывается на обычно имеющуюся иерархию вертикальную.

«Управление разработкой проекта» можно определить как структурный подход к проведению организационных изменений. Он с успехом был применен в авиационной промышленности. Использование же данной концепции в социальной области вызывает некоторые сомнения [30].

«Человеческий подход» направлен на реализацию изменений путем воздействия на параметры личности. Весь спектр бихевиористских наук связан с этим подходом. Среди последних методов, получивших практическое использование, можно отметить метод тренировки чувствительности, дельфийский метод, метод формирования управленческой сети и метод организационного усовершенствования.



Метод тренировки чувствительности рассматривает группу индивидуумов как основное орудие осуществления изменений и направлен на изменение оперативной структуры организации путем стимулирования прямых личных взаимосвязей между ее членами. Индивидуумы стремятся понять себя, проанализировать, как их действия воспринимаются другими, и это является основой возможных изменений [31].

Дельфийский метод (см. гл. 17) приводит к согласованному мнению путем обоюдной критики экспертов; устранение разногласий проводится в несколько этапов до тех пор, пока не будет выработано единодушное решение.

Метод формирования управленческой сети является попыткой объединения интересов сотрудников, направленных на решение некоторой общей для них проблемы в единое целое. Такое объединение осуществляется с помощью установления связей между данными элементами организации в целях улучшения компетентности группы сотрудников в целом при решении данной совокупности задач [32].

Метод организационного усовершенствования включает в себя исследования групповых взаимодействий, групповой деятельности, настроений и взаимосвязей, направленные на повышение эффективности деятельности организации. Упор делается на самоанализ участников процесса изменений [33].

Из всех методов, реализующих «человеческий подход», организационное руководство путем непосредственного участия дает наилучшие возможности для осуществления организационных изменений. Было показано, что личное участие преодолевает сопротивление переменам и стимулирует членов организации к достижению ее целей. Было выяснено, что одним из ключевых моментов успешного проведения организационных изменений является распределение власти, что становится «начальной подцелью, необходимым предшественником созидательных перемен в структуре, технологии, решении задач и их применении на практике» [34]. Распределение власти является предпосылкой любых иных перемен. По этому вопросу см. пример к данной главе, а также работу [35].

## Значение информации, передача технологии

При рассмотрении процесса реализации особое внимание следует обратить на процессы передачи информации по каналам связи. Один из таких процессов — так называемый *процесс диффузии* — связан с первоначальной передачей нововведений от разработчика к пользователю и с дальнейшей *передачей*, вызванной этими нововведениями *технологии* (здесь имеется в виду использование нововведений вторичными пользователями, т. е. теми, кто не стремился к реализации данной идеи изна-

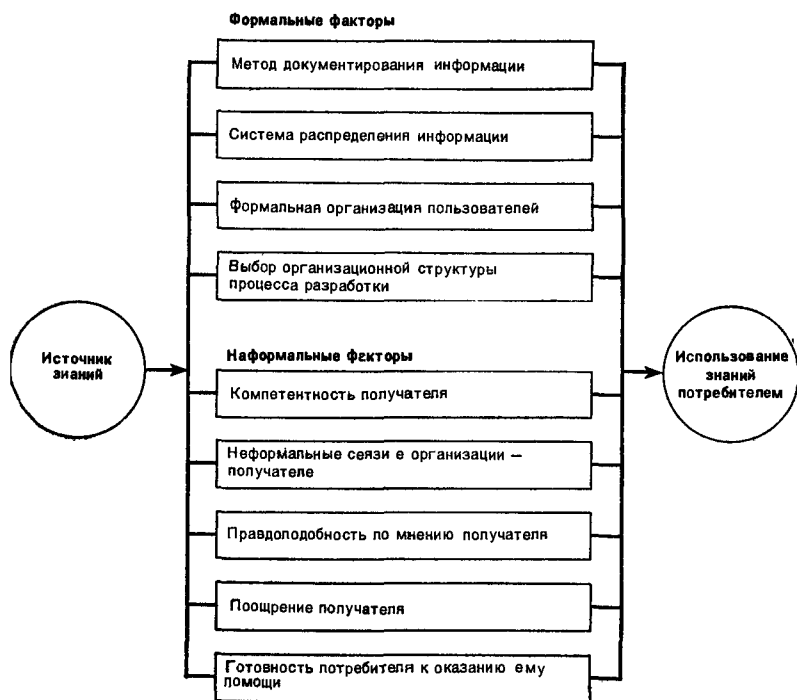


Рис. 15.3. Модель информационной связанности [36].

чительно). Литературу, имеющуюся по процессу диффузии, мы здесь не приводим, так как читателю не составит особого труда найти многочисленные ссылки по данному поводу в списке литературы к данной главе. Что же касается вопроса о передаче технологии, то он пока недостаточно изучен и заслуживает в связи с этим большего внимания.

Крейтон, Джоли и Деннинг [36] описали элементы модели, отражающей формальные и неформальные факторы, влияющие на передачу технологии. Эта модель (рис. 15.3), названная *моделью информационной связанности (Information Linker Model)*, содержит следующие компоненты:

1. *Формальные факторы* (процедуры формирования содержимого памяти, индексирования и поиска информации в памяти).

Документирование — процедура определения формата, структуры и языковых средств описания сообщений о нововведениях.

Распределение — процедура определения физических каналов распределения информации.

Организация — процедура определения «структуры власти, природы деловой активности, ресурсов, отношений, бюрократических тенденций и состояния равновесия», которые приводят к успеху или неудаче процесса передачи технологии.

Выбор организационной структуры процесса разработки проекта — процедура определения «инициатора проекта, исполнителей, руководителей, консультантов и потребителей проекта».

**2. Неформальные факторы** (связи и контакты между людьми, персональные мнения и индивидуальные восприятия источника знаний, мнения о других организациях).

Компетентность — характеристика индивидуума как члена организации.

Связанность — это, возможно, самый важный фактор, он относится не к индивидууму, а к «совместным действиям всех людей, вовлеченных в цепь коммуникации» [37].

Правдоподобность источника знаний.

Готовность получателя информации (потребителя) к оказанию ему помощи.

Пути поощрения получателя.

Джולי и Крейтон экспериментально проверили предполагаемые качества их модели и вышеописанный механизм связей на ряде организаций [38].

Не все индивидуумы в социальных системах принимают новшества одновременно. Роджерс и Шумейкер предлагают в данном случае классификацию в соответствии с величиной отрезка времени, в течение которого индивидуум примет нововведение. Так, можно выделить «новаторов (людей, готовых на риск); тех, кто не отвергает в принципе нововведений (беспристрастных людей); категорию лиц, основывающихся на мнении простого большинства (осторожных людей); категорию лиц, основывающихся на мнении подавляющего большинства (скептиков); инертных людей (консерваторов)». Авторы исследовали социально-экономические характеристики, параметры личности и коммуникационное поведение каждой группы с целью прогнозирования их способностей к восприятию и внедрению новшеств [39].

Следует упомянуть о работе Хэйблока, который предложил следующую типологию (распределение) ролей в существующих связях: «передатчик» (источник), консультант, наставник, руководитель, новатор, защитник, а также такие звенья связи, как накопитель знаний, интерпретатор и пользователь. Эти роли даны как некие «идеальные типы». Считается что в совокупности они «охватывают все важнейшие функции, необходимые для установления и поддержания связей между источниками знаний и пользователями, потребителями, клиентами... Указанные

роли следует рассматривать совместно, формируя из них непрерывную цепь», обеспечивающую усвоение информации и, возможно, даже ее использование [40].

## Другие параметры

Было обнаружено, что успех стратегий реализации зависит от степени «операционности» целей, т. е. от того, в какой степени «имеются средства проверки факта достижения конкретной частной цели или критерия» [41]. Различия в успешности внедрения в случае частного предприятия и в случае государственной организации связаны с тем, что в первом случае цели могут быть сделаны более операционными, чем во втором [42].

Стар предположил, что состояние взаимопонимания не обязательно должно присутствовать на всех уровнях организации. Он выделяет три проблемных уровня, которые следует учитывать при решении вопроса о полезности взаимопонимания: тактический, стратегический и глобальный. На тактическом уровне уже имеются оформленные правила действий в виде стратегий. На данном уровне попытка достижения взаимопонимания не обязательно дорогостояща и требует много времени. Следовательно, на тактическом уровне подход, основанный на разделенных функциях, возможно, является наилучшим при реализации. На стратегическом уровне, или на уровне среднего руководства, «руководитель испытывает недостаток фактов для оценки деятельности исследователя — его требуется убедить». На глобальном уровне, или уровне высшего руководства, задачи обычно плохо структурированы и во многом неопределенны [43].

Успех реализации в ряде случаев может зависеть от мотивации, или от типа потребностей, которые вызывают реализацию. Элдерсон различает мотивации, выражающие прямые и косвенные потребности. Среди первых мы находим ситуации, в которых руководитель уже имеет поставленную задачу и ищет ее решение. Сюда же относятся случаи, когда ЛПР, уже зная решение задачи, приглашает консультанта для того, чтобы тот обеспечил сознательное принятие этого решения остальными участниками процесса. Элдерсон называет такие потребности управляющего «поиском решения» и «посредничеством» соответственно. Он замечает, что в действительности не возникает никаких прямых потребностей при исследованиях, выполняемых лишь по долгу службы, в символических целях. Такие исследования были названы «ритуальными» [44]. На возможности реализации неблагоприятно влияет отсутствие убежденности ЛПР в решении существующих задач.

## Внедрение технологических новшеств: своевременность

Об осуществлении перемен нужно заботиться своевременно, а об этом часто забывают. Новшество, однако, не будет принято до тех пор, пока социальные, экономические и психологические условия этого не потребуют. Арон доказывает, что «пока продолжается интенсивное развитие экономики, фактически гарантировано принятие технологических усовершенствований, приводящих к увеличению прибыли... Можно легко доказать, что сопротивление технологическим нововведениям в этом случае в большей степени определяется какими-то конъюнктурными деловыми соображениями, а не глубокими причинами, лежащими в основе системы» [45]. «Принятие или отклонение технологических новшеств зависит в большой мере от того, проводятся ли они в то время, когда экономика достаточно статична, когда в ней наблюдается упадок или когда она расширяется» [46].

С социальной и психологической точек зрения человеку трудно идти в ногу с технологическими изменениями. Согласно Моррисону, нововведение «... предвещает изменение в структуре некоторых общественных отношений... Ежедневная рутина, привычки в мышлении, существующая организация, удобства, соглашения, ритуалы, лояльность духа — все это способствует неизменности текущего состояния. Эмоционально мы еще не являемся обществом, предрасположенным к принятию перемен, хотя мы и стараемся систематически развивать те силы, которые должны нас к этому привести. Мы поддерживаем поиски новых путей организации, хотя и пугаемся подчас последствий своей же изобретательности. Мы излишне часто стараемся обезопасить себя путем поддержания отживших стандартов, усилением чисто физических мер безопасности, перекладыванием своих гражданских обязанностей на государство» [47].

## Заключение

Естественно, что изменения не принимаются без опасений. Промышленное развитие привело к достаточному изобилию и высокому уровню жизни. Однако мы можем прямо спросить себя: все ли обстоит так хорошо? Каждый труженик отдален от общества и от прямого результата своего труда. Он во многом бессилен перед решениями, определяющими его конкретные производственные задачи. Промышленное развитие отчасти несет ответственность за тенденцию к урбанизации и за часто неблагоприятные условия жизни в городах. Может ли это быть результатом наших успехов по внедрению технологических усовершенствований? Повинно ли в этом промышленное развитие или нет, но в нас пробудилось сознание необходимости допол-

нения успехов в области производства успехами в социальной области. Такие успехи привели бы к обратным тенденциям в решении вопросов, связанных с загрязнением окружающей среды, правонарушениями, урбанизацией. В дальнейшем внедрение будет означать принятие изменений лишь при должном учете неразрывной связи личности и общества.

### **Пример: проведение в жизнь закона о борьбе с бедностью**

В рассматриваемом примере описываются трудности, с которыми столкнулись государственные органы при попытках ввести в действие закон 1964 г. о борьбе с бедностью. Сложившаяся ситуация — интересный пример для всех, кто интересуется теорией и практикой реализации. При изложении материала автор следует своему обзору книги Мойнихена<sup>1)</sup>.

В 1968 г., в конце деятельности администрации президента Джонсона, проводилось сокращение расходов на борьбу с бедностью. Три года, последовавшие за принятием в 1964 г. закона о борьбе с бедностью, принесли с собой ряд нововведений. Попытаемся выяснить, какие факторы способствовали успеху этой программы, а какие вызвали оппозицию ей.

### **Участие в реализации программы**

При проведении изменений все же лучше работать с существующими организационными структурами, чем пытаться заменить их совершенно новыми. Такое заключение поясняет, почему наделение бедных слоев населения (потребителей программы) определенными элементами власти отрицательно сказывается на существующей структуре власти. Структура власти при этом вместо того, чтобы способствовать успеху программы, оказывала бы ей лишь противодействие. Агенты процесса изменений, так же как и субъекты изменений, должны быть в выигрыше. Ожидать иного — значит потерпеть неудачу в определении направлений их интересов.

Ключом к реализации программ борьбы с бедностью, с точки зрения самих бедняков, является выполнение закона, называемого «максимально возможным участием». «Это означает вовлечение самих бедняков в планирование и осуществление программы, предоставление им реального голоса в рамках данного

<sup>1)</sup> Van Gigch J. P., A Book Review Maximum Feasible Misunderstanding: Community Action in the War on Poverty, by D. P. Moynihan, © 1969, New York The Free Press, INFOR, *Canadian Journal of Operational Research and Information Processing*, 9, 1, 78—79 (March 1971). (С разрешения Macmillan Company и Canadian Operational Research Society.)

общественного института» [48]. «Жизненной силой каждой общественной программы является вовлечение в нее субъектов программы — бедняков, их участие в планировании, формировании решений и реализации программы» [49].

Итак, участие и вовлечение — краеугольный камень успешной реализации программы.

Те, кто изучали теорию организаций и теорию человеческих отношений, указывают на то, что участие в программах и руководство участием являются эффективными мерами уменьшения сопротивления переменам. Кое-что, однако, должно быть учтено и из опыта лиц, непосредственно реализующих социальную программу борьбы с бедностью.

Программа встречает сопротивление, когда слишком много бедняков привлечено к ее реализации, так как при этом ослабевает влияние официальных лиц. Участие подобно обоюдоострому мечу. Оно гарантирует выполнение при надлежащем применении инструмента участия, но порождает сопротивление, когда используется сверх меры. В любой программе реформ существует также реальная опасность пообещать слишком много и обмануть надежды. Тенденция инициаторов борьбы с бедностью, состоявшая в том, чтобы «запродать больше акций, чем имеется в наличности, и недовыполнить реально данные обещания» — испытанный путь к срыву плана, волнениям и насилию.

Власть, несомненно, является основным параметром в преодолении сопротивления переменам, как уже отмечалось ранее в данной главе. Власть была эффективна при реализации программы борьбы с бедностью, но, возможно, здесь не хватало иного ингредиента — истины.

«Главное, что мешает любым усилиям в борьбе с бедностью в гетто, — это недоверие их жителей... Наблюдая малозаметные результаты социальных программ, бедняки, по-видимому, делают вывод, что такие программы просто надуманы как средство увеличения доходов чиновников, политиков, ученых». В дополнение к этому реципиенты программы находятся в антагонизме с теми, кто пытается навязать им свою собственную систему ценностей, без учета «традиционных ценностей культуры данного меньшинства» [50].

Факт получения бедняками власти является признаком того, что в некоторых отношениях программа социальных реформ выполнена. Очевидно, что проблема приобрела острый и разрушительный характер, чего, конечно, не предполагали члены конгресса при голосовании за данный законопроект. Более радикальные сторонники программы считают, что «стабильность в организации является условием, которое достижимо путем компромиссного соглашения между субъектами власти». Следовательно, для введения изменений должен быть нарушен статус-

кво и должен быть вызван конфликт, причем еще до того, как будет преобразована существующая структура власти в организации и будут установлены новые условия функционирования данной организации.

### Возведение в ранг общественного института

Реализация программы и возведение в ранг института идут рука об руку. Несмотря на оппозицию муниципальных властей и конгресса,

Агенты общественных программ, по-видимому, нашли свой путь в системе местного самоуправления во многих городах страны. У избирателей всегда есть претенденты на все официальные должности, которые могут заменить работающих ныне агентов... Здесь, очевидно, в действие приходит процесс адаптации. [Большинство] научатся жить в условиях действия общественных программ, ища пути их использования в своих интересах, их внедрения в существующую структуру самоуправления... Постепенно выясняется жизнеспособность программы, и в системе местной власти возникает новый общественный институт [51].

### Прогресс общественных наук

Все сказанное укрепляет нас во мнении, что раз уж мы участвуем в процессах общественных, политических или технологических изменений, то всегда должны планировать реализацию с пониманием всех последствий, с учетом воздействия наших планов на процесс изменений.

Мойнихен предупреждает нас о трудностях реализации планов, которые могут быть непонятны тем, кто должен эти планы одобрить. Ситуация здесь подобна состоянию коммуникации в матрице реализации Чёрчмена и Шейнблата.

Намерением Мойнихена отнюдь не является уделение этапу реализации такого же внимания, как «ожидаемой институциональной роли общественных наук в общественных делах». Мойнихен не верит, что общественные науки обладают такими средствами, которые позволяют им «в результате управления определенными входами системы осуществлять массовые изменения образа поведения» [52]. Он утверждает, что «роль общественных наук состоит не в разработке социальной стратегии, а в измерении результатов» [53]. Если мы знаем, как измерять, то уже «можно пробудить общественный интерес к поиску решения» [54].

Можно согласиться с Мойнихеном в том, что только общественные науки не могут «осуществлять массовые перемены». Однако, и это будет повторено в последней главе книги, когда мы рассматриваем перспективы развития общественных наук и системного подхода, мы верим, что разрыв между теорией и



практикой будет уменьшаться. Конкретные общественные науки в последние десятилетия существенно увеличили свое научное содержание. Они уже подошли к состоянию, когда могут играть заметную роль в формировании социальной политики. В то же самое время они должны быть ответственны за те изменения, реализации которых они способствуют.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Churchman C. W., Schainblatt A. H., The Researcher and the Manager: A Dialectic of Implementation, *Management Science*, 11, 4, B-80 (1965).
2. Bennis W. G., «Commentary», on C. W. Churchman, A. H. Schainblatt, The Researcher and the Manager: A Dialectic of Implementation, *Management Science*, 12, 2, B-13 — B-16 (1965).
3. Churchman C. W., Schainblatt A. H., On Mutual Understanding, *Management Science*, 12, 2, B-40 — B-42 (1965).
4. Mitroff I. I., A Communication Model of Dialectical Inquiring Systems — A Strategy for Strategic Planning, *Management Science*, 17, 10, B-647 (June 1971). Причина, побуждающая Чёрчмена и Митрофа задавать эти вопросы, связана с методом проведения исследования, сформировавшимся на основе диалектики Гегеля. По Гегелю, «столкновение мнений и отсутствие согласия» — идея метода исследования, а выбранная стратегия состоит в «проведении максимально бурных дебатов по любому вопросу». Расхождение во мнениях, а не доверие (согласие) приведет к цели.
5. MacIver R. M., The Web of Democracy, (rev. ed.) Free Press, New York, 1965.
6. См. п. 1, с. B-83.
7. Heany D. F., Is TIMS Talking to Itself? *Management Science*, 12, 4, B-152 (1965).
8. См. п. 1, с. B-83, B-84.
9. Beer S., «Commentary», on C. W. Churchman, A. H. Schainblatt, The Researcher and the Manager: A Dialectic of Implementation, *Management Science*, 12, 2, B-11 (1965).
10. Huysmans J. H. B., The Implementation of Operations Research, Wiley, New York, 1970, pp. B-39, B-110; Huysmans J. H. B., The Effectiveness of the Cognitive-Style Constraint in Implementing Operations Research Proposals, *Management Science*, 17, 1, 92—104 (September 1970).
11. S. Messick, J. Ross (eds.), Measurement in Personality and Cognition, Part III: Stylistic Consistencies in Cognition, Wiley, New York, 1962, pp. 171—215; Witkin H. A., Lewis H. B. et al., Personality Through Perception, Harper and Row, New York, 1954.
12. Hamilton W. F., Grieb T., Pasold P., Doktor R. H., Cognitive Style and Implementation, 11th Annual National Meeting of the Institute of Management Sciences, Los Angeles, Calif., October 1970.
13. Doktor R. H., Hamilton W. F., Cognitive Style and the Manager — Management Scientist Interface in Implementation, 11th Annual National Meeting of the Institute of Management Sciences, Los Angeles, Calif., October 1970, p. 6; Doktor R. H., Hamilton W. F., The Acceptance of Operations Research Proposals: An Experimental Study, Working Paper No. 121, Wharton School of Finance and Commerce, University of Pennsylvania, Philadelphia, Pa.; Doktor R. H., Hamilton W. F., Cognitive Style and the Acceptance of Management Science Recommendations, *Management Science*, 19, 8, 884—906 (April 1973).
14. McKenney J. L., Keen P., How Managers' Minds Work, *Harvard Business Review*, 52, 3, 79—90 (May — June 1974).

15. Kilmann R. H., Mitroff I. I., Qualitative versus Quantitative Analysis for Management Science: Different Forms for Different Psychological Types, *Interfaces*, 6, 2 17—27 (February 1976).
16. Mason R. O., Mitroff I. I., A Program for Research on Management Information Systems, *Management Science*, 19, 5, 475—487 (January 1973); Mitroff I. I., The Subjective Side of Science: A Philosophical Inquiry into the Psychology of the Apollo Moon Scientist, Elsevier, Amsterdam, 1974.
17. Bariff M. L., Lusk E. J., Cognitive and Personality Tests for the Design of Management Information Systems, *Management Science*, 23, 8, 820—829 (April 1977); Dickson G. R., Senn J. A., Chervany N. L., Research in Management Information Systems: The Minnesota Experiments, *Management Science*, 23, 9, 913—923 (May 1977).
18. Van Gigch J. P., Pipino L. L., Fuzzy Set Theory and Decision Making in the Inexact Sciences, in The General Systems Paradigm: Science of Change and Change of Science, Proceedings of the Annual North American Meeting of the Society for General Systems Research, Denver, February 1977, pp. 308—313; Van Gigch J. P., Pipino L. L., From Absolute, to Probable and to Fuzzy in Decision Making, September 1977.
19. Doktor R. H., Problem Solving Styles of Executive and Management Scientists, *Management Science*, Special Issue, 1978.
20. Huysmans J. H. B., The Implementation of Operations Research, chs. 1, 5
21. Shakun M. F., Management Science and Management: Implementing Management Science via Situational Normativism, *Management Science*, 18, 8, B-367 — B-377 (April 1972).
22. Vollmer H. M., "Commentary" on C. W. Churchman and A. H. Schainblatt, The Researcher and the Manager: A Dialectic of Implementation, *Management Science*, 12, 2 B-36 — B-39 (1965).
23. Hanssmann F., «Commentary» on C. W. Churchman and A. H. Schainblatt, *Management Science*, 12, 2, B-22 — B-23 (1965).
24. См. п. 22, c. B-39.
25. Leavitt H. J., Applied Organizational Change in Industry: Structural Technological and Humanistic Approaches, March J. (ed.), Handbook of Organizations, Rand McNally, Chicago, 1965, pp. 1144—1170.
26. Boguslaw R., The New Utopians: A Study of System Design and Social Change, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1965, pp. 3, 5.
27. См. п. 25, c. 1151.
28. Bowers D. G., Seashore S. E., Changing the Structure and Functioning of An Organization, Evan W. M. (ed.), Organizational Experiments, Laboratory and Field Research, Harper and Row, New York, 1971, pp. 185—201.
29. Morse N. C., Reiner E., The Experimental Change of a Major Organizational Variable, Evan W. M. (ed.), pp. 202—212.
30. Cleland D. I., King W. R., Systems Analysis and Project Management (2nd ed.), McGraw-Hill, New York, 1975.
31. National Training Laboratories, Explorations in Human Relations Training, Washington, D. C., 1954.
32. Blake R. R., Mouton J. S., The Managerial Grid, Gulf, Houston, Texas, 1964.
33. Bennis W. G., Organizational Development: Its Nature, Origins and Prospects, Addison-Wesley, Reading Mass., 1969.
34. См. п. 25, c. 1159.
35. McGregor D., The Human Side of the Enterprise, McGraw-Hill, New York, 1960; McGregor D., The Professional Manager, McGraw-Hill, New York, 1966; Likert R., New Patterns of Management, McGraw-Hill, New York, 1961; Argyris C., Personality and Organization, Harper and Row, New York, 1957.
36. Creighton J. W., Jolly J. A., Denning S. A., Enhancement of Research and Development Output Utilization Efficiencies, Linker Concept Methodology

- in the Technology Transfer Process, Naval Postgraduate School, Monterey, Calif., June 1972
37. Essoglou M. E., The Linker Role in the Technology Transfer Process, in Jolly J. A., Creighton J. W. (eds.), Technology Transfer in Research and Development, Naval Postgraduate School, Monterey, Calif., 1975, pp. 1—15.
  38. Jolly J. A., Creighton J. W., Technology Transfer and Utilization Methodology; Further Analysis of the Linker Concept, Naval Postgraduate School, Monterey, Calif., June 1974; Jolly J. A., A Study of the Technology Transfer Capability of Eleven Organizations, in Jolly J. A., Creighton J. W. (eds.), Technology Transfer in Research and Development, Naval Postgraduate School, Monterey, Calif., 1975, pp. 81—90
  39. Rogers E. M., Shoemaker F. F., Communications of Innovation: A Cross Cultural Approach, Free Press, New York, 1971, ch. 5.
  40. Havelock R. G. et al., Planning for Innovation Through Dissemination of Utilization of Knowledge, Institute for Social Research, University of Michigan, Ann Arbor, Mich., 1971, ch. 7.
  41. March J. G., Simon H. A., Organizations, Wiley, New York, 1966, p. 156.
  42. Radnor M., Rubinstein A. H., Tansik D. A., Implementation in Operations Research and R & D in Government and Business Organizations, *Operations Research*, 18, 6, 967—991 (November—December 1970).
  43. Starr M. K., "Commentary" on the Researcher and the Manager: A Dialectic of Implementation, *Management Science*, 12, 2, B-30—B-35 (1965).
  44. Alderson W., Commentary on The Researcher and the Manager: A Dialectic of Implementation, *Management Science*, 12, 2, B-6—B-9 (1965).
  45. Aaron B., Governmental Restraints of Featherbedding, in P. A. Weinstein (ed.), Featherbedding and Technological Change, Boston, Mass., Heath, 1966, p. 14.
  46. Арон приписывает данную цитату Стерну. См. п. 45, с. 12.
  47. Morison E. E., Men, Machines, and Modern Times, Mass., MIT Press, Cambridge, 1966, pp. 36, 42.
  48. Высказывание Р. Кейнеди. См. Mounihan D. P., Maximum Feasible Misunderstanding: Community Action on the War on Poverty, Free Press, New York, 1969, p. 11.
  49. Office of Economic Opportunity, Community Action Program Guide, Washington, D. C., October 1965, см. п. 48, с. 97.
  50. Bullock P., Fighting Poverty, The View from Watts, Proceedings of the Nineteenth Annual Winter Meeting of the Industrial Relations Association, Madison, Wis.
  51. См. п. 48, с. 157—159. Замечания Мойнихена следует рассматривать на фоне реальных социально-политических процессов, связанных с программой борьбы с бедностью. Для более детального изучения природы трудностей, возникающих при реализации программы, следует обратиться к работе Mounihan D. P., The Politics of A Guaranteed Income, New York, Random House, 1973; Barth M. C., Carcagno G., Palmer J. L., Toward an Effective Income Support System: Problems, Prospects and Choices, Madison, Wisc., Institute for Research on Poverty, University of Wisconsin, 1974.
  52. См. п. 48, с. 191.
  53. Там же, с. 193.
  54. Там же, с. 198.

## I. Процесс достижения согласия

### Введение

Рассмотрение факторов, способствующих успеху или приводящих к неудаче при решении проблемы, указывает на необходимость изучения еще одного вопроса — достижения согласия между участвующими сторонами. Умение прийти к единому мнению приобретает особую важность в тех случаях, когда отдельные люди, фракции или группы пытаются найти пути разрешения стоящих перед нами социальных и политических проблем в острых дискуссиях. Мы доверяем нашему правительству в выборе верного политического курса, который получит одобрение и поддержку большинства населения. Для того чтобы в таком многочисленном обществе, как наше, заручиться общим согласием, руководители должны проводить обдуманную политику. Проблема поиска путей к единодушию сторон не является новой. Однако в последнее время предпринимались попытки осуществления новых подходов к ее решению, основанных на методе определения степени взаимосогласия или на методах сходимости к единодушному мнению. В настоящей главе отмечается роль достижения согласованности действий в процессе принятия решений и системном проектировании.

Обсуждение данной проблемы мы начинаем с описания процедур, используемых при проектировании автострад. Этот пример показывает необходимость построения процесса, с помощью которого проектировщики, планировщики и заказчики определенным образом обсуждают интересующие их проблемы. Для того чтобы облегчить разрешение конфликтов на взаимовыгодной основе, необходимо построить процесс узаконивания.

### Процедуры планирования, не содержащие процесса узаконивания

На рис. 16.1 изображены процедуры составления плана трассирования дороги, используемые Калифорнийским отделе-



мых должностных лиц является оценка исследований в области планирования, проведенных данным отделением автомобильных дорог, и критический анализ его сообщения. Отделение часто проводит встречи с местными организациями для того, чтобы

Скоординировать действия, обменяться информацией, согласовать вопросы проектирования дороги с задачами, стоящими перед местными органами, разрешить возникающие конфликты.. На всеобщее обсуждение выносятся различные варианты прокладывания трассы. Эти проблемы обсуждаются на собраниях местных общин, где знакомят общественность с результатами проведенных исследований. Затем рекомендации общественности обсуждаются государственными органами и, если это необходимо, Калифорнийской комиссией по автомобильным дорогам (ККАД), после чего последняя принимает окончательное решение.

В данных процедурах планирования основными моментами, на которых необходимо остановиться, являются следующие:

1. Результатами исследования обычно бывают несколько вариантов трассирования, из которых комиссии по автомобильным дорогам надлежит выбрать одну.

2. До проведения собраний общественности Калифорнийское отделение автомобильных дорог контактирует главным образом с местным техническим персоналом.

3. В процессе планирования отчеты по экономическим характеристикам и воздействию строительства дороги на общину появляются, как правило, очень поздно.

4. До принятия окончательного проекта дороги с местными властями заключаются неофициальные соглашения [1].

Оценка приведенной выше процедуры показывает, что «большинство ответственных лиц знали о проводимых исследованиях в области планирования, но значительно меньшая их часть участвовала в этих исследованиях... Почти все горожане проявляли активность в период общего обсуждения, но практически никто из них не принимал участия в проведении исследований» [1].

Хотя местные должностные лица и жители района признавали, что данное отделение автомобильных дорог действительно с вниманием отнеслось к их предложениям и критике, они все же выразили недовольство тем, что, во-первых, к ним поступало недостаточно информации об исследованиях, связанных с планированием; во-вторых, не в полной мере учитывались интересы общин и воздействие, которое окажет на них строительство, и, в-третьих, «участие местных общин в проводимых работах и управлении было ограниченным» [1].

Таким образом, этим процедурам планирования недоставало процесса узаконивания, с помощью которого планировщик получает одобрение своих заказчиков.

## Предлагаемая модификация процедур планирования, предусматривающая использование процесса узаконивания

В гл. 15 мы описали узаконивание как процесс, посредством которого планировщик согласовывает свои действия с теми, для кого он составляет план, учитывая их стремления и желания, и добивается тем самым их доверия. На рис. 16.2 изображена модификация приведенных ранее процедур планирования. Модифицированные процедуры дополнительно содержат следующие элементы:

1. *Связь отделения автомобильных дорог с местными организациями*, заключающуюся в их непрерывных контактах. Это позволяет отделению быть постоянно осведомленным относительно потребностей и целей заказчиков и предоставляет последним возможность выражать свои претензии и пожелания.

2. Сам *процесс узаконивания*, «заключающийся в привлечении местных общин к участию в составлении процедуры планирования и ее выполнении. Он включает в себя

- а) определение участников;
- б) разработку стратегии планирования, т. е. путей исследования, которое будет проведено как организацией, так и другими заинтересованными сторонами;
- в) определение границ области исследования (особенно это относится к выбору начального и конечного моментов исследования);
- г) изложение первоначальных задач и целей исследования».

3. *Социально-экономическое исследование и изучение последствий* строительства дороги, «имеющие целью способствовать общине в определении своих задач... Отделение автомобильных дорог должно выступать в роли организации, способствующей общественному развитию... Расширение сети автомобильных дорог следует сравнивать с другими возможными вариантами развития транспортных средств, учитывая при этом как положительные, так и отрицательные аспекты каждого из проектов».

4. *Планирующие организации*. «Планирующая организация служит в основном для того, чтобы собрать вместе общественных руководителей, принимающих участие в разработке плана» [2].

Понятия узаконивания и согласованности неразрывно связаны. Если планировщики знают оценку общества, данную их предложениям, то при составлении плана они могут учитывать

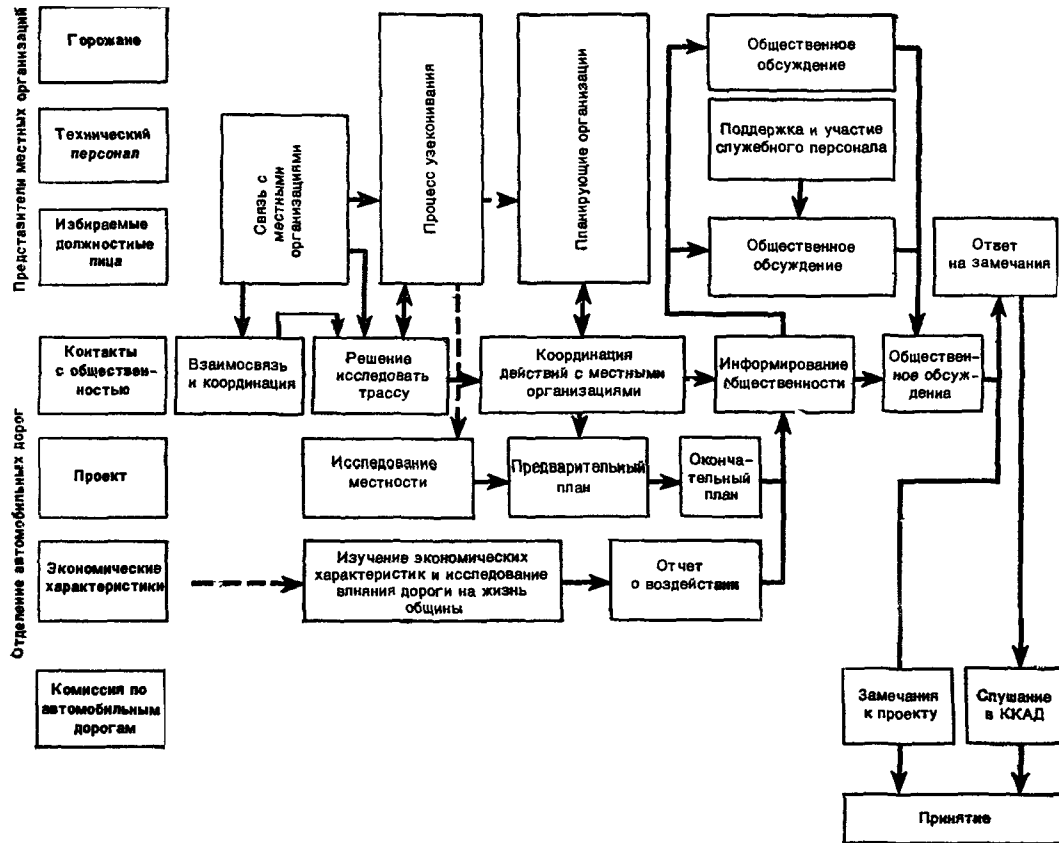


Рис. 16.2. Модифицированная процедура составления плана трассирования, включающая процесс узаконивания [1]. (С разрешения Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D. C.)



общественные интересы. В свою очередь, план проектирования дороги имеет больше шансов быть принятым окончательно в том случае, когда заинтересованные в нем лица верят в то, что планировщики искренне заботятся об их благополучии и что действия планировщиков честны и законны.

### **Допущения, принимаемые планировщиками, и достижение согласия**

Результаты процесса узаконивания и степень согласия, которой достигают участвующие стороны, зависят от роли планировщика в процессе планирования. Как отмечалось в гл. 4, качество проектов, полученных с помощью процесса планирования, зависит от допущений, принятых планировщиками, и миропонимания последних. Понятие «миропонимание» использовалось Мейсоном для описания убеждений планировщиков, их ценностей, сделанных ими предположений [3]. Мы показали, что план зависит от допущений планировщика и его миропонимания и является прямым результатом действия этих факторов. В табл. 16.1 мы описали две диаметрально противоположные модели, показывающие нам, какими могут быть допущения планировщиков и как может быть достигнуто единодушие, или согласие. Аналогичные модели были построены для сопоставления понятий планирования и свободы предпринимательства [4].

Допущения, принимаемые планировщиком, можно классифицировать в соответствии со следующими факторами:

1. Ролью, которую он отводит правительству и избираемым должностным лицам.
2. Существующей государственной структурой общества.
3. Ролью общего обсуждения в разрешении возникающих в обществе спорных вопросов.
4. Ролью, которую он отводит экспертам и экспертизе.
5. Представлением планировщика и государственных деятелей о человеке.

Единодушие достигается либо с помощью процесса узаконивания, который предполагает совместное участие и полное исправление недостатков, либо с помощью арбитражной процедуры, посредством которой достигается компромисс между влиятельными группировками, оказывающими давление на политику. Выбор того или иного способа зависит от проекта принятой системы планирования. Нетрудно представить себе различные результаты, получаемых с помощью этих двух моделей.

Таблица 16.1

## Допущения, принимаемые планировщиком

|                                                           | Принимаемые допущения                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                           | Модель 1                                                                                                                                                                                                                              | Модель 2                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Роль правительства и положение избираемых должностных лиц | Правительство избирается народом; после избрания правительственные должностные лица обязаны отчитываться перед народом за свою деятельность, государственные задачи определяются самим народом в ходе общего обсуждения               | Правительство избирается народом; после избрания правительство становится арбитром при решении различных проблем, возникающих между группами населения, и определяет государственные задачи                                                                                                      |
| Государственная структура общества                        | Государственные служащие и избираемые должностные лица подотчетны перед народом, принятые ими решения представляются народу для окончательного рассмотрения                                                                           | После своего назначения государственные служащие управляют страной, стремясь сохранить стабильность и поддерживать порядок; должностные лица могут назначаться в советы, которые принимают окончательные решения в масштабах нации                                                               |
| Роль общего обсуждения вопросов                           | Все люди в равной мере способны участвовать в общей дискуссии или обладают потенциальной возможностью для этого, они должны иметь возможность принять участие в общем обсуждении вопросов и быть выслушанными; их участие необходимо  | Мудростью наделены немногие, поэтому не все могут и должны участвовать в обсуждении возникающих вопросов                                                                                                                                                                                         |
| Роль экспертизы                                           | Способностью к проведению экспертизы обладают большинство людей                                                                                                                                                                       | Экспертиза проводится лишь элитой общества                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Представление о человеке                                  | <i>Оптимистическая точка зрения:</i> человеку свойственна добропорядочность, и он ставит общественные интересы выше личных<br><br><i>Здравомыслие:</i> человек способен обсуждать важные вопросы и вносить весомый вклад в их решение | <i>Пессимистическая точка зрения:</i> человеку свойственна недобропорядочность, и он ставит свои личные интересы выше общественных; действия человека необходимо контролировать; люди нуждаются в арбитрах<br><i>Здравомыслие:</i> не все люди способны участвовать с пользой в общих дискуссиях |

|          | Принимаемые допущения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|          | Модель 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Модель 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Согласие | <p><i>Стремление:</i> человек искренне заинтересован в благополучии своих близких и всех остальных людей</p> <p>Сходство взглядов достигается в результате участия всех сторон в решении общих вопросов; имеющиеся недостатки вскрываются и исправляются</p> <p>Узаконивание: совместное участие порождает в людях доверие друг к другу и уверенность в завтрашнем дне</p> | <p><i>Стремление:</i> человек по своей природе эгоистичен и заинтересован не в благополучии человечества, а в личной выгоде</p> <p>Правящие круги решают вопросы от имени тех, кого они представляют</p> <p>Согласие достигается с помощью убеждения и представления убедительных аргументов в пользу того или иного решения; группам и фракциям разрешается действовать методами принуждения</p> |

## Применение различных стратегий планирования

Проанализируем, как достигается согласие в каждом из семи различных проектов систем планирования автомобильных дорог, предложенных Бишопом, Оглесби и Уиллеком <sup>1)</sup>.

### 1. Информационная стратегия

Роль планировщика (рис. 16.3) аналогична значению состояния с разделенными функциями в матрице реализации (см. рис. 15.1). «При использовании информационной стратегии планировщик автомагистрали руководит исследованиями и контактирует только с общественными организациями для сбора информации и данных» [5].

Такая стратегия не способствует участию в разработке проекта местных жителей, должностных лиц и местных организаций, которых только информируют о ходе проектирования. На

<sup>1)</sup> Семь стратегий планирования, которые исследуются ниже, заимствованы из работы [1]. (Используется с разрешения.)

протяжении всего цикла планирования они остаются «пассивными». Информационная стратегия является результатом допущений, аналогичных описанным в модели 2 (табл. 16.1). Согла-

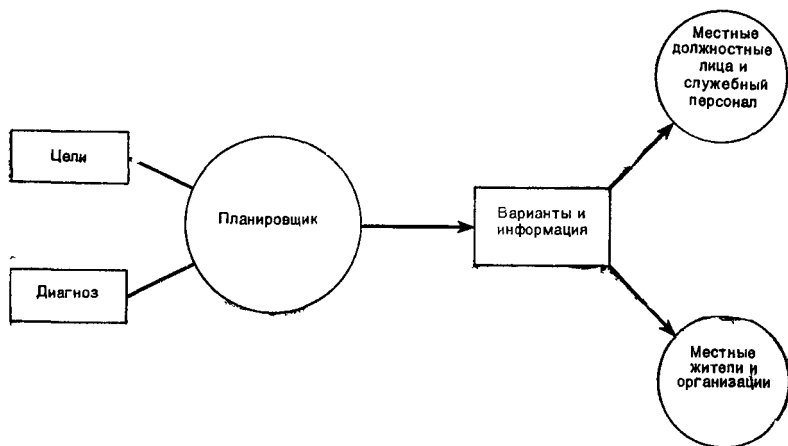


Рис. 16.3. Информационная стратегия [1]. (С разрешения Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D. C.)

сие достигается попыткой «внушить» массам правильность принятого решения, не допуская их активного участия.

## 2. Информационная стратегия с обратной связью

Иногда стратегия планирования может быть дополнена «обратной связью»: передачей информации от местных должностных лиц, служебного персонала и местных жителей к планировщикам. Однако по существу это не изменяет позицию планировщика в отношении способности остальных людей вносить весомый вклад в разработку плана. Согласие по-прежнему достигается путем «навязывания» решений [5].

## 3. Координационная стратегия

Взаимодействия между различными группами общества пока не наблюдается, по-видимому, по той причине, что планировщик не изменил своих допущений о роли правительства, о государственной структуре общества и своего представления о человеке и его способностях (рис. 16.4). Планировщик по-прежнему действует согласно той модели достижения согласия, в которой основное внимание уделяется решениям, предложенным

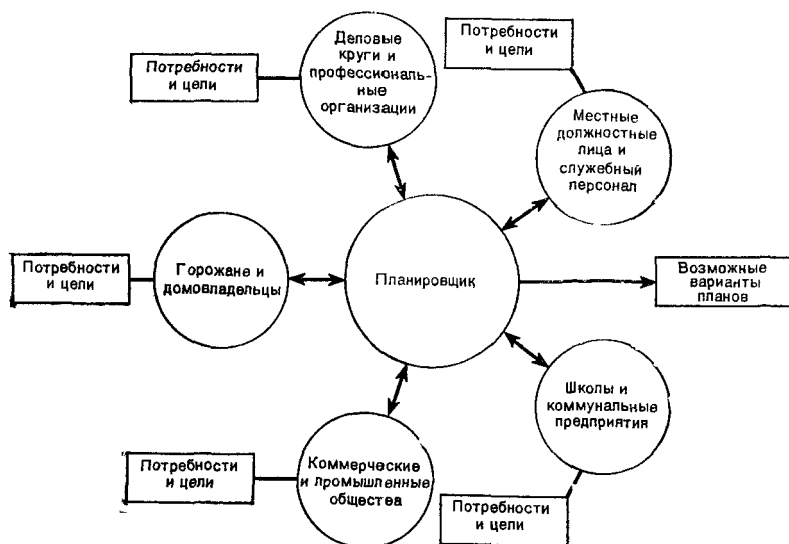


Рис. 16.4. Координационная стратегия [1] (С разрешения Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D. C.)

«техническими» и «политическими экспертами», а интересы всех остальных «заинтересованных сторон» игнорируются [5].

#### 4. Планирование защиты общественных интересов. Общественный представитель

Данный план так же, как и последующий, отражает изменения в первоначальных допущениях планировщика (рис. 16.5). Общественный представитель, «специально назначенный эксперт», от имени общественных групп работает непосредственно с планировщиками автострад. Теперь планировщик реагирует на сигналы, поступающие от всех заинтересованных групп. Но его слово все еще остается решающим при принятии того или иного варианта. Общественный представитель стремится достичь согласия, позволяя всем заинтересованным лицам высказывать свое мнение. По-видимому, часть допущений, принятых планировщиком относительно достижения согласия, соответствует модели 1, а часть — модели 2 (табл. 16.1).

#### 5. Арбитражное планирование. Государственный инспектор

Эта стратегия планирования незначительно отличается от предыдущей. Общественного представителя здесь заменяет государственный инспектор. В зависимости от обстоятельств инс-

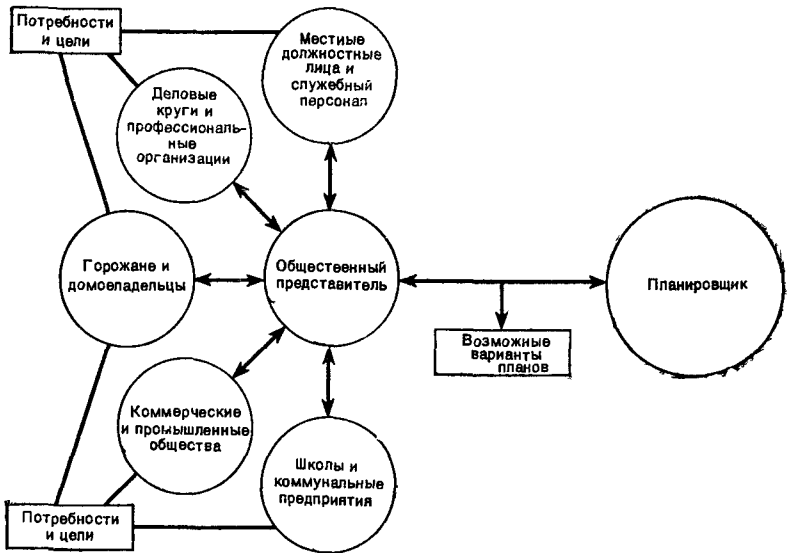


Рис. 165. Планирование защиты общественных интересов (общественный представитель) и арбитражное планирование (государственный инспектор) [1]. (С разрешения Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D. C.)

пектор может быть избран из числа представителей незаинтересованных организаций. Он не всегда разделяет точку зрения должностных лиц, как местных, так и связанных со строительством автострады. Однако, если государственный инспектор является представителем организаций, непосредственно заинтересованных в реализации проекта, то его роль может заключаться в том, чтобы расположить официальные органы в пользу данных организаций [5, 6].

## 6. Планирование с участием планировщика-координатора

Данная стратегия отличается от приведенных выше стратегий (рис. 16.6). Допущения, принятые планировщиком относительно достижения согласия, теперь соответствуют первой модели. Планировщик содействует участию в решении вопросов заинтересованных сторон и их «взаимодействию друг с другом». Такой образ действий планировщика основан на его убеждении в том, что заинтересованные стороны способны вносить существенный вклад в разработку проекта. Планировщик верит в мудрость и здравый смысл человека, и, хотя он подотчетен организации, в которой работает, он не боится следовать советам

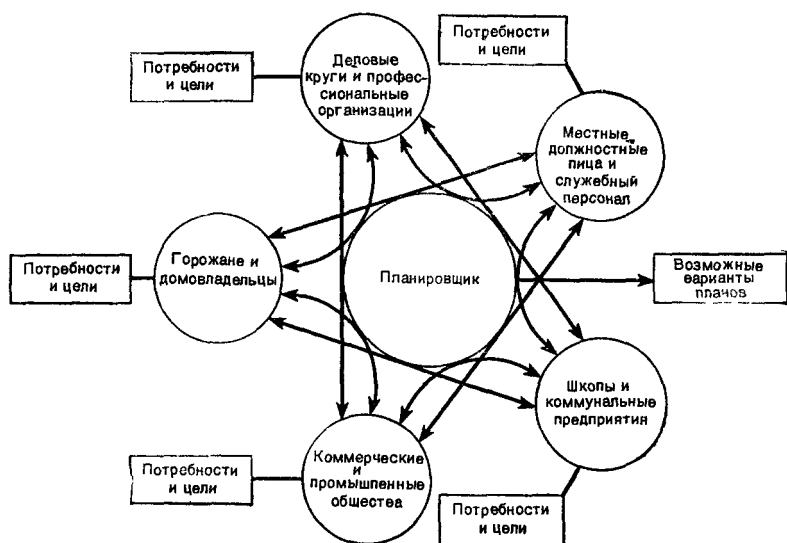


Рис 166 Планирование с участием планировщика-координатора [1]. (С разрешения Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D. C.)

других людей. Это способствует проведению всеобщего обсуждения. «С помощью данной стратегии планировщики автострады... приобретают методологические знания и техническое мастерство, а также согласовывают цели и интересы различных групп и способствуют достижению компромисса в конфликтных ситуациях» [7].

## 7. Многоцелевое планирование

Предположим, что каждая группа людей, обладающих общими интересами, имеет своих собственных планировщиков. Все такие группы проводят самостоятельно свои исследования и составляют свои планы, на основе которых затем создается общий план. Основная трудность осуществления такого проекта заключается в том, что департамент автомобильных дорог является единственной организацией, которая, как правило, обладает и «возможностью для экспертизы, и средствами для проведения исследований в области проектирования автострады». Многоцелевое планирование без надлежащего согласования может привести к неосуществимым планам. Однако если цели и планы каждой группы людей с общими интересами учитывались бы более полно, то «согласие в обществе, по-видимому, могло бы быть достигнуто» [8].

Помимо семи предложенных стратегий составления плана трассирования автострადы существует большое количество других возможных вариантов проекта. Кроме того, приведенные модели достижения согласия применимы не только к проектированию автострад. Они показывают нам, что допущения, принятые планировщиком, в частности касающиеся государственной структуры общества, играют важную роль в планировании систем и совершенствовании процесса достижения единодушия. «Конфликт не должен мешать проектированию дороги. Необходимо найти такой подход к управлению, при котором конфликты не избегались бы, а напротив, различные группы общества, которых затрагивает данное проектирование, должны излагать свои мнения и стремиться к взаимовыгодному решению, которое было бы принято в результате переговоров» [9].

Филдинг считает, что для того, чтобы свести к минимуму принуждение и разрешать конфликты между группами общества путем переговоров, лица, ответственные за планирование и выполнение плана по строительству, должны придерживаться позиции описанного выше «планировщика-координатора». К советам экспертов (планировщиков) и специалистов, по его мнению, следует относиться с осторожностью, «значительно лучше предоставить возможность самим местным жителям выбрать такой план трассирования дороги, который, по их мнению, оказывал бы минимальное воздействие на окружающую среду» [10].

Чтобы данный план привести в действие, необходимо определить, какие из «доверенных лиц», пользующихся как непосредственным, так и косвенным влиянием, смогут лучше других отстаивать общественное решение, связанное с процессом проектирования. «Доверенное лицо — это человек, защищающий общественные интересы». Поскольку «доверенные лица» принимают участие в постановке задач и определении целей, а также в выборе путей достижения этих целей, то вероятность того, что принятый проект будет наиболее полно отвечать общественным интересам, возрастает [11].

Гласность привела к принятию законов на уровне государства, штатов и округов, согласно которым соответствующие учреждения должны исследовать влияние проектов, разработанных общественными и частными организациями, на окружающую среду. В соответствии с федеральным законом все правительственные учреждения помимо выполнения других требований.

- примут меры дисциплинарного воздействия, гарантирующие интегрированное использование естественных и общественных наук (в том числе экологии) в планировании и принятии решений, затрагивающих окружающую среду;
- найдут методы и построят процедуры, которые в процессе принятия решений дали бы возможность наряду с решением экономических и технических



задач уделить должное внимание оценке природных богатств, которые в настоящее время не поддаются количественному определению;

- будут изучать, усовершенствовать и описывать подходящие варианты реализации каждого проекта, в котором не решены вопросы рационального использования природных ресурсов, и давать соответствующие рекомендации по выбору направления действий... [12].

В Калифорнии эти законы требуют, чтобы государственные учреждения исследовали все частные и общественные проекты на предмет того, смогут ли они оказать «сильное воздействие на окружающую среду». Ответственный орган должен руководить этим исследованием, готовить сообщение о воздействии на окружающую среду (СВОС) и определять «первичные» и «вторичные» последствия. Этот же орган должен дать возможность государственным учреждениям и представителям общественности ознакомиться с СВОС и внести свои замечания. Рецензенты проекта должны «позаботиться о том, чтобы СВОС представляло бы лицам, принимающим решения, полезную информацию о возможных воздействиях на окружающую среду, путях, которые свели бы нежелательные воздействия к минимуму, а также различных вариантах проекта» [12]. Общественное участие и гласность рассматриваются как часть «консультативного процесса», связанного с рассмотрением проекта и его осуществлением. Согласно упомянутым законам все возможные варианты систем и связанные с ними идеи должны рассматриваться каждой из заинтересованных сторон, будь то частное лицо или организация. Важным является тот факт, что для утверждения проекта, оказывающего какое-либо влияние на общество, требуется согласие всех заинтересованных сторон. Для этого необходимо найти комбинированные критерии, с помощью которых учитывались бы мнения всех сторон и на этом основании принималось бы одно общее решение.

## Многокритериальные модели принятия решений

Для узаконивания стратегии планирования, а также для понимания допущений, принятых планировщиком, не обязательно принимать в расчет мнения и оценки всех заинтересованных сторон. Необходимо построить формальную структуру или модель принятия решения, аналогичную тем, которые описаны в гл. 11. С их помощью можно сравнить различные варианты проекта и на основе критериев оценки каждой из подсистем количественно определить прибыль и издержки. На рис. 11.12 мы показали последовательность процедур, которые должны быть использованы для утверждения количественных оценок решений. На последнем шаге этой процедуры происходит обращение к процессу агрегирования индивидуальных оценок

в функцию общего предпочтения, которая выражает групповые оценки. Уинклер предлагает четыре подхода к комбинированию оценок [13]. (Их описание содержится в следующей главе.)

Позднее Кини показал, с какими трудностями связана проблема агрегирования, и сформулировал условия, выполнение которых необходимо для получения групповой функции полезности, точно отражающей характер индивидуальных функций полезности. Эти условия «требуют точного установления отношения предпочтения между различными лицами». Указания по поводу того, как это может быть сделано, приводятся в работе [14] (по этому вопросу см. также работу [15]). Блин [16] считает, что было бы чрезмерным упрощением полагать, что отношения предпочтения могут быть выражены только с помощью дихотомических отношений (да — нет или 0—1). Поэтому он вводит понятие группового предпочтения. Оно появилось после создания теории размытых множеств и размытых отношений, к которой мы обращались в гл. 9 и которая будет вновь обсуждаться в гл. 17.

Необходимость использования этих методов станет более острой, когда нам предстоит привести к взаимному согласию различные организации, а также различные группы в одной организации. Когда системный подход получит признание, мы станем свидетелями того, как разрабатывается все большее число проектов, затрагивающих интересы различных организаций; основная роль в этих проектах отводится многоцелевым и многомерным функциям, описанным в гл. 11. Приведенные там система оценки качества окружающей среды и модель использования водных ресурсов являются примерами того, как достигается соглашение между заинтересованными сторонами. Другим примером, заслуживающим внимания, является программа по обработке твердых отходов, принятая в муниципальном округе Канзас-Сити. Как и некоторые другие примеры, она показывает ту работу, которая проводится для разрешения городских проблем и проблем, связанных с защитой окружающей среды [17].

В разработке систем участвовали три группы ЛПР: 1) представители муниципальной комиссии по планированию (МКП); 2) профессиональные планировщики и 3) технический консультативный комитет по твердым отходам (ТККТО).

Эти три группы пришли к единой точке зрения по следующим вопросам:

1) по утверждению организационных планов управления работой региональной системы обработки твердых отходов. Различные варианты проекта оценивались с учетом их возможности обеспечить:

а) обслуживание заказчиков, б) экономичность, в) распространение выбранной системы, г) использование техники (внедрение новейших технических достижений), д) гибкость, е) хранение информации и ее использование (в целях обработки числовых характеристик и составления плана), ж) ответственность (в целях координации);

2) по оценке различных систем обработки твердых отходов. Одиннадцати рассмотренным системам были даны оценки на основании следующих критериев:

а) эстетики, отражающей характер воздействия системы на жизнь округа, б) экономики, рассматривающей прямые и косвенные расходы по обслуживанию системы, в) гибкости, определяющей способность системы приспосабливаться к изменению требований, накладываемых на нее, г) здоровья и безопасности (определение степени опасности, которую несет в себе хранение отходов для человека), д) способности к использованию, т. е. критериев, определяющих, насколько легко или трудно внедрить систему, е) обслуживания заказчика, ж) воздействия на окружающую среду.

Члены МКП принимали участие в работе, в ходе которой критериям были приписаны относительные веса. ТККТО производил оценку различных вариантов систем, посредством чего последним были приписаны составные «баллы полезности» [18] и было произведено ранжирование систем. Согласие достигалось с помощью процедуры оценки, содержащей две итерации. Таким образом, при участии в процедуре организации и выбора трех категорий ЛПР рекомендованная система была одобрена и применена на практике [19].

При использовании многокритериальных моделей принятия решений следует избегать следующих ошибок:

1) представления «абсолютных ценностей» с помощью баллов полезности, которые должны выражать только относительную ценность;

2) приписывания баллам полезности свойств аддитивности в случае, когда невозможно произвести сравнение оценок экспертов;

3) приписывания классам свойств аддитивности в случае, когда каждое лицо, производящее оценку, может пользоваться только методами ранговой корреляции, например методом парного сравнения.

Мы уже приводили несколько методов, имеющих целью разрешить некоторые из этих проблем. В частности, были обсуждены:

1) методы, использующие внешние условия решений и «иерархию критериев». С помощью данных методов различным вариантам решения приписываются нормализованные веса;

- 2) многомерное взвешивание, включая методы ранговой корреляции, анализ предпочтений, «подобия» и «близости»;
- 3) многомерный статистический анализ;
- 4) количественная оценка суждений, комбинация субъективных вероятностных распределений и т. п.

## Формальные методы достижения согласия

За последние годы проблема «сходимости» различных точек зрения вызывает большой интерес и рассматривается как отдельная область исследования. Дельфийский метод был описан как способ «достижения полного согласия в группе экспертов» [20]. Обычно его используют в тех случаях, когда группа экспертов специально собирается для обмена мнениями. В следующем разделе настоящей главы мы остановимся на подробном описании понятия «эксперта», а сейчас нам достаточно полагать, что эксперт — это человек, чьи суждения мы оцениваем. Дельфийский метод, а также теория, на которой он основан, неразрывно связаны с понятием согласия между экспертами. Интересно отметить, что, по мнению одного из создателей дельфийского метода, последний не разрабатывался исключительно ради того, чтобы помочь группе людей прийти к единодушию, или сходимости во взглядах. Скорее он был построен как метод, имеющий целью наилучшим образом использовать информацию, которой располагают члены этой группы [21]. В данном случае целью является использование мнений экспертов, способных наилучшим образом оценить и сравнить относительную важность тех факторов, которые являются очевидными, с теми, необходимость рассмотрения которых может быть осознана только интуитивно в результате накопленного опыта:

При решении проблем, связанных с прогнозированием, можно полагаться только на мнения профессиональных экспертов в данной области, показавших свое умение вносить необходимые дополнения в рассмотрение задач и давать интуитивную оценку тем факторам, которые на первый взгляд кажутся незначительными, но влияют решающим образом на окончательный результат. Роль экспертов не ограничивается тем, чтобы доказывать какие-либо факты. Необходимы также и их глубокие познания в потенциально полезных для нас областях знания, которые не только не определены по содержанию, но и недостаточно точно формализованы [22].

Нередко нас также интересует вопрос о достижении согласия между людьми в ситуациях, когда невозможно организовать соответствующим образом подобранную группу. Подобная ситуация встречается в политике, где понятие согласия нередко связывается с понятием согласованности. В данной области предпринимаются попытки дать разумное толкование понятию коллективных решений и определить связь между решениями,

принимаемыми отдельными людьми, и групповыми решениями, когда все рассматриваемые лица участвуют в коллективных действиях [23]. В качестве примера можно указать «теорию... построенную с целью описания процедуры, с помощью которой могут быть разрешены конфликты после того, как пункты, по которым имеются разногласия, тщательно исследованы в ходе целенаправленной дискуссии и сформулированы в виде возможных решений, на основании которых осуществляется выбор политического курса» [24].

Дельфийский метод основан на итеративной процедуре, с помощью которой комиссия экспертов опрашивается таким образом, что на ряд поставленных перед ними вопросов они отвечают в несколько этапов. Этот метод обладает тремя отличительными особенностями: 1) анонимностью, 2) управляемой обратной связью и 3) статистическим групповым ответом [25].

Члены комиссии отвечают на вопросы, не вступая в контакт друг с другом или даже не зная друг друга. Этим обеспечивается анонимность. Существование управляемой обратной связи следует из того, что после каждого этапа вопросов ответы табулируются и строится их вероятностное распределение.

Перед очередным этапом эксперты могут оценить результаты предыдущего цикла, правильность своих доводов и отклонение полученных ими результатов от среднего значения. Безусловно, на экспертов определенным образом воздействуют ответы, данные незнакомыми им специалистами, и после нескольких итераций процесса будет достигнута большая степень согласия.

Дельфийский метод использовался в различных ситуациях, особенно в таких, когда ни одна из других процедур, представляющая ответы на сложные вопросы, не была пригодной.

## Примеры использования дельфийского метода

### Предварительная оценка

Один из первых примеров применения дельфийского метода описывает работу комиссии экспертов, производящих оценку наименьшего количества бомб, требуемого для разрушения гипотетического объекта. Опрос экспертов производился в пять этапов. Задаваемые вопросы, за которыми следовали персональные беседы, охватывали широкий круг проблем, что необходимо для «выявления... всех факторов, которые, по мнению экспертов, влияют на решение поставленной задачи, для ознакомления с оценкой этих факторов, данной самими экспертами, и получения информации о том, какие характеристики дают возможность более точно оценить эти факторы» [26]. Результаты каждого из этапов опроса сообщались экспертам. Число

бомб, полученное после первого этапа опроса экспертов, колебалось от 50 до 5000, а после последнего этапа — от 167 до 360. Это свидетельствует о том, что используемая процедура способствует достижению единства взглядов [26, 27].

### Оценка кандидатов <sup>1)</sup>

В данном примере показано, каким образом эксперты, давая оценку кандидатам, претендующим на вакантные места в государственных учреждениях, приходят к общему мнению. Оценка кандидатов обычно производится следующим образом. Когда в учреждении появляется вакантное место, о нем дается подробное сообщение, после чего определяются способности претендентов на соответствующую должность. Для этого двоим или более экспертам поручается дать свою оценку кандидатам. Затем аттестационная комиссия, для того чтобы вынести окончательную оценку претендентам, определяет их квалификацию и изучает сообщения экспертов. Для выявления достоинств каждого из кандидатов на рабочее место аттестационная комиссия действует как «группа экспертов». В исследовательских целях экспертов, или судей, просили следовать «модифицированному дельфийскому методу». Каждому кандидату судьи выносили оценку и присваивали соответствующую квалификацию четыре раза. Вначале (на первом этапе) они независимо друг от друга ставили каждому кандидату «глобальную оценку», исходя из которой определялась квалификация последнего. Затем судьи собирались вместе для того, чтобы обсудить полученные результаты (второй этап) и, если они того желали, изменить свои решения. На третьем этапе выставление оценок и определение квалификации производилось после проведения комиссией беседы с кандидатами. На четвертом этапе судьи проводили совместное обсуждение для того, чтобы уменьшить различия в поставленных ими оценках. На этом этапе (итерации) судьи пришли к единому мнению по поводу присуждаемых квалификаций. Сравнение четырех последовательных оценок и присужденных квалификаций показывает, насколько быстро эксперты приходят к согласию и как изменяется их точка зрения после каждой итерации. Экспертизе аттестационной комиссии была дана количественная оценка по степени «точности» и степени «достоверности». С помощью коэффициента согласия после

<sup>1)</sup> Van Gigch J. P., Hommes R., A Study of Opinion Convergence in Personnel Appraisal Examinations, prepared for the California State Personnel Board, Examining Standards Division, Sacramento, Calif., August 1970. Данная работа является чисто экспериментальной и не охватывает всех возможностей использования дельфийского метода для оценки кандидатов на должность.

каждого этапа определялась степень единодушия; соответствующие величины приводятся ниже.

В данном примере на основе модифицированного дельфийского метода был построен процесс, посредством которого эксперты в большинстве случаев достигают согласия в вопросе о квалификации кандидатов. Интересным вопросом является установление «внешних условий решений», принимаемых каждым судьей, которые позволяют определить, соответствуют ли оценки, поставленные каждому из кандидатов с помощью вышеуказанной процедуры (такие оценки называются «составными»), их «глобальным оценкам» [28]. Давая каждому кандидату «глобальную оценку», судьи не учитывают в полной мере всех необходимых для этого факторов. Соответствие между составными и глобальными оценками дает дополнительные возможности использования внешних условий решений как средства для определения коэффициента принятия решения руководителем [29] (См. также гл. 17.)

### Представление рекомендаций <sup>1)</sup>

В некоторых исправительных заведениях консультанты и психологи используют определенную процедуру для того, чтобы выработать рекомендации для судей. Эти рекомендации основаны на диагностических данных и помогают судьям определить характер преступления. Консультантам и психологам предоставляется 90 дней для изучения дела, получения о нем необходимой информации, проведения психологических и психиатрических исследований и вынесения рекомендаций суду. Обычно при расследовании каждого дела используют одного консультанта и одного психолога. В течение указанного времени они изучают мотивы и характер преступления и на основании своих исследований дают рекомендации. Если мнения психолога и консультанта относительно характера преступления расходятся, то назначается новая группа для проведения исследований. Она повторно изучает дело и, действуя как группа «экспертов», о которой уже шла речь, принимает однозначное решение. Обычно такая комиссия приходит к тому или иному заключению с помощью дискуссии и голосования. Подобный метод, когда согласие достигается в результате групповой дискуссии и голосова-

<sup>1)</sup> Van Gigch J. P., Hommes R., A Study of How Correctional Counselors and Psychologists Agree on Presentence Recommendations, prepared for the California State Department of Corrections, Human Relations Agency, Research Division, Sacramento, California, June 1971, *Canadian Journal of Criminology and Corrections*, 15, 1 (January 1973). Данная работа является чисто экспериментальной и не охватывает всех возможностей использования дельфийского метода при подготовке рекомендаций.

ия, называется «групповым решением». Для проверки полученных решений был также использован определенным образом измененный дельфийский метод. Заключался он в следующем. Когда потребовалось групповое изучение дела, оно было передано всем членам группы. Их ознакомили со всеми подробностями дела и попросили представить свое заключение в письменном виде, без обсуждения вопроса с другими членами группы. Таким образом, групповая дискуссия не проводилась. Иногда согласие между экспертами было очевидным, поскольку большинство из них давало одну и ту же рекомендацию на первом этапе процесса. В тех случаях, когда ни одну из точек зрения не разделяло большинство экспертов, дело рассматривалось на следующем этапе процесса: каждому эксперту поручали изучать дело еще раз. После того как экспертам представили результаты предыдущего этапа и были отмечены факторы, признанные наиболее важными для рассмотрения дела, был осуществлен переход к следующему этапу обычного дельфийского метода. На основе полученной информации консультанты и психологи давали новую оценку изучаемому делу. Этот процесс продолжался до тех пор, пока не было достигнуто полного согласия. Обычно для этого требовалось выполнить не более трех итераций.

## Возможности дельфийского метода

Дельфийский метод, при использовании которого не допускаются непосредственные контакты экспертов друг с другом, устраняет ряд недостатков, характерных при коллективном решении проблем. Он исключает случаи, когда имеют место злоупотребление служебным положением, принуждение при голосовании и другие отрицательные явления в работе коллектива. Дельфийский метод следует рассматривать как инструмент *исследования*, который может быть использован в специальных случаях, когда никакой другой метод неприменим. Особенно хорошо он подходит для ситуаций, когда комиссия экспертов отвечает на вопросы, связанные с прогнозированием, и все ее члены согласны давать ответы в несколько этапов, имея возможность искренне высказать свою точку зрения и изменять свое решение.

Дельфийский метод представляет собой также инструмент *планирования*, способствующий взаимодействию планировщиков друг с другом в целях разрешения сложных проблем. Дельфийский метод можно использовать не только для решения задач, связанных с прогнозированием, хотя создание этого метода было вызвано именно этим кругом задач. Его можно применять и при изучении развития происшедших событий для того,



чтобы понять, как и почему они произошли. Хотя анонимность исключает возможность «воздействия принуждением», уменьшает вероятность того, что кто-либо займет «удобную позицию», поддерживая мнение большинства, и позволяет искренне выражать свою точку зрения, были апробированы разновидности дельфийского метода, когда сохраняются последовательные опросы экспертов, но возможны их непосредственные контакты друг с другом [30]. Подобные модификации, допускающие взаимосвязь экспертов, напоминают диалектическую модель Гегеля, которую мы рассмотрим в гл. 17.

Дельфийский метод не является *рабочим* инструментом, его нельзя использовать в тех случаях, когда согласованное решение требуется принять немедленно, в рабочей обстановке. Одно из основных затруднений в данном случае заключается в том, что между каждыми двумя этапами процесса необходимо собрать и объединить ответы, а затем сообщить их членам комиссии. Некоторые из этих недостатков могут быть устранены с помощью описанного ниже метода дельфийского совещания или других методов, позволяющих производить все необходимые операции и осуществлять контакты между членами комиссии в реальном времени.

Дельфийский метод не подходит для тех случаев, когда нет возможности изменить свое решение или когда такое изменение связано с большими трудностями. Подобный случай описан выше, когда мы обсуждали группу консультантов и психологов, которые представляли судьям свои рекомендации в отношении наказания правонарушителей. На основании небольшого числа важных сведений каждый член комиссии давал одну из двух рекомендаций: освобождать заключенного или нет. При изучении дел допускались небольшие дискуссии. Каждый член комиссии давал ответы типа «да» или «нет», которые не изменялись на протяжении нескольких этапов процедуры.

Профессиональные планировщики, составители плана по обработке твердых отходов, принятого в муниципальном округе Канзас-Сити, вообще не допускали группового участия в процессе принятия решения, объясняя это тем, что не хотели устраивать «торга» или оказывать друг на друга давление [31].

Сэкмен считает, что дельфийский метод является «научно не обоснованным с теоретической точки зрения и, по всей видимости, ненадежен на практике» [32]. Мы не можем согласиться с его строгой оценкой, но хотим предостеречь читателей от попыток связать с дельфийским методом понятия точности и надежности, которые относятся к методам, предназначенным для исследования жестких систем. В противоположность научному методу дельфийский метод был специально построен для таких областей, в которых решения принимаются интуитивно, без до-

казательств и где преобладает неформальное мышление. Поэтому судить о достоинствах или недостатках дельфийского метода можно только на основании того, как он помогает при исследовании мягких систем из областей вышеуказанного типа.

## Метод «дельфийское совещание»

Метод «дельфийское совещание» обладает преимуществами дельфийского метода (управляемой обратной связью и анонимностью), и лишен некоторых его недостатков (продолжительных интервалов времени между итерациями и трудностей, возникающих при попытках ускорить взаимодействие между участниками, не разрешая им при этом вступать в прямой контакт друг с другом). Он служит примером гегелевского-дельфийского процесса.

Основателем метода дельфийского совещания является Туроф. Он реализовал дельфийский метод с помощью терминалов вычислительной машины, что дало возможность непрерывно вести процесс, «мгновенно собирать индивидуальные решения и получать групповые решения» [33].

В одном из совещаний участвовало 20 человек, которые взаимодействовали друг с другом с помощью терминалов ЭВМ. «Работая в реальном времени, вычислительная машина выдавала сообщение о дискуссионных вопросах, выносимых на обсуждение членами комиссии, и о результатах голосования по поводу желательности и выполнимости предложений или важности и достоверности замечаний» [34]. Метод дельфийского совещания открывает новые возможности группового общения. Он является быстро реализуемым, не имеет пространственных ограничений, обеспечивает анонимность членов комиссии и не требует их непосредственных контактов.

Мы разделяем мнение Турофа о том, что методы, подобные дельфийскому совещанию, имеют большее значение для «расширения возможностей человеческого интеллекта», чем для достижения согласия. Метод дельфийского совещания основан на методологии дельфийского процесса и использует достижения вычислительной техники. Он открывает новые возможности в областях, имеющих отношение к управляющим информационным системам и системам группового взаимодействия [35]. До сих пор ЭВМ использовалась в качестве вычислительного устройства и средства обработки информации. Мы показали новые возможности ЭВМ, позволяющие управлять обменом мнений между людьми с целью улучшить их понимание сложных проблем.

## II. Методы определения степени согласия

Формальные методы, позволяющие определить степень согласия между экспертами, а также точность и надежность их прогнозов, должны способствовать принятию более последовательных решений. На протяжении всех поисков единодушного решения члены экспертной комиссии должны получать соответствующую информацию в реальном времени, чтобы каждый из них знал о позициях, занимаемых остальными членами, как это имело место, например, при использовании метода дельфийского совещания. Информация обратной связи, которой пользуются эксперты при работе по дельфийскому методу, в большинстве случаев носит качественный характер. *Критерии единодушия*, применяемые при оценке степени согласованности мнений экспертов, дают важную статистическую информацию, позволяющую экспертам принимать более последовательные решения, области допустимых отклонений которых могут быть установлены заранее с любой степенью достоверности.

Существует два вида критериев единодушия: 1) критерии надежности и точности и 2) критерии согласия.

### Определение точности и надежности прогнозов экспертов

Хелмер и Решер считают, что отбор экспертов следует производить на основе двух критериев — надежности и точности.

*Надежностью* называется величина, которая показывает, как часто эксперт составляет правильный прогноз. «Степень надежности прогноза эксперта определяется частотой случаев, когда он, располагая несколькими возможными гипотезами, приписывает той из них, которая в конечном счете оказалась верной, большую вероятность, чем остальным» [36].

Под *точностью* мы понимаем величину, определяющую отклонение прогноза эксперта от «правильного» ответа или «наилучшей оценки» измеряемой переменной. Иными словами, точность показывает, насколько предсказания каждого из экспертов отличаются от «истины» [37].

Оценка надежности и точности прогнозов эксперта требуется для определения достоверности его экспертизы. Например, если кто-то решил положиться на гадалку, предсказывающую судьбу с помощью «магического кристалла», то его прежде всего интересует вопрос о том, можно ли ей доверять, т. е. он стремится определить процент правильных предсказаний гадалки. Подобный расчет не обязательно производить с большой точностью, если заранее известно, что прогнозы гадалки надежны. Однако если это не так, то необходимо установить

точность ее прогнозов и определить, насколько правильными (или неправильными) они являются. У человека было бы больше желания играть в азартную игру, если бы у него были шансы, пусть даже не стопроцентные, получить большой выигрыш.

Методы определения надежности и точности прогнозов экспертов, а также способы определения степени их согласия более детально описываются в приложении к настоящей главе.

## **Заключение**

Предполагая, что мы согласились с необходимостью «обоюдного согласия», мы должны также признать необходимость установления законности процесса, с помощью которого проекты планировщиков получают одобрение заказчиков. Процесс исследования и планирования можно рассматривать в более широком смысле, когда, с одной стороны, исследователи и ученые работают над научными проблемами, а с другой стороны, планировщики и аналитики изучают проблемы, возникающие в обществе. Будут их решения одобрены или нет, зависит от того, «является ли законным проводимый ими опрос... и доверяют ли им заказчики или широкие слои населения настолько, чтобы полностью положиться на их исследования» [38]. Для соблюдения «законности при опросе» требуется, чтобы между планировщиком и заказчиком было достигнуто «взаимное понимание» и единодушное мнение по вопросам, касающимся намерений первого и представлений последнего. Аналогичным образом «законность власти» основана на согласии между руководителем и подчиненным. Подчиненный «соглашается» подчиняться руководителю до тех пор, пока последний соблюдает по отношению к нему законность.

Таким образом, точно так же как законность власти основана на согласованности между стремлениями тех, кто ею обладает, и представлениями тех, на кого эта власть распространяется, так и законность опроса [частью которого являются исследование, планирование и проектирование] базируется на согласованности между стремлениями ученых и представлениями тех, на кого рассчитана методология [39].

Таким образом, понятие единодушия неразрывно связано с процессом, способствующим соблюдению нравственных норм при проектировании систем и повышению роли науки в решении этических вопросов социальных систем.

## **Приложение**

### **Критерии единодушия**

Данное приложение посвящено следующим проблемам: 1) определению надежности, 2) определению точности; 3) определению степени согласия.

## Правильный ответ и усеченный «бесконечный эксперимент» при сходящемся процессе

При использовании сходящегося процесса возникает вопрос: какие из ответов, получаемых в ходе итеративного процесса, следует считать «правильными» или «наилучшими»? Этот вопрос становится особенно трудным при использовании дельфийского метода для решения задач с неизвестными предшествующими ответами. Возникают две возможности:

1. Рассматривать распределение ответов, полученных на последнем этапе, в качестве наилучшего ответа. При этом предполагается, что процесс сходится, а решения экспертов с каждым этапом приближаются к правильному. В этом случае их последний ответ должен быть лучше любого предыдущего.

2. Когда оптимальное решение не известно или не достигается, появляется возможность рассматривать процесс сходимости бесконечным и провести эксперимент, состоящий из  $n$  опытов. При достаточном числе повторений эксперимента справедлива центральная предельная теорема, и среднее значение всех выборок является в этом случае «наилучшей оценкой» математического ожидания. При этих предположениях наилучшая оценка, или «правильный ответ», должна быть найдена с помощью осреднения результатов, полученных на всех выполненных этапах процесса. В ходе выполнения сходящегося процесса эта оценка улучшается при стремлении числа опытов к бесконечности. Возможность рассмотрения дельфийского метода в качестве «усеченной» процедуры выбора зависит от числа «опытов», или выполненных «итераций», которое определяется главным образом степенью согласия между экспертами после нескольких этапов процесса и тем, насколько отличаются их ответы. Если от экспертов получено достаточное количество ответов, то их можно рассматривать как статистическую выборку, среднее значение которой является наилучшей оценкой измеряемой переменной. Понятие «бесконечного эксперимента» было предложено Барфордом [40].

## Определение надежности

По предсказаниям экспертов может быть построено выборочное распределение, параметрами которого являются  $\bar{X}_n$  — среднее значение выборочных предсказаний,  $\sigma_n$  — экспериментально установленное стандартное отклонение выборочного среднего, или среднеквадратичное отклонение выборочного распределения.

Для того чтобы с определенной степенью доверия (95, 99% и т. д.) определить, принадлежат ли оценки, или прогнозы,

каждого эксперта генеральной совокупности прогнозов, можно провести проверку гипотез. В данном случае используется  $t$ -статистика:

$$t = \frac{\bar{X}_i - X_i}{\sigma_n / n^{1/2}},$$

где  $n$  — число выборочных прогнозов.

Каждое из решений эксперта может быть оценено как «удачное» или «неудачное» в зависимости от того, что показала проверка: принадлежит это решение распределению оценок или нет. Можно выбрать определенную степень доверия, например 95 или 99%. Надежность каждого отдельного эксперта характеризуется отношением числа правильных ответов к общему числу данных им ответов.

## Определение точности

Поскольку точность характеризует, насколько прогноз эксперта отличается от среднего, или «правильного», решения, этим понятием можно воспользоваться для того, чтобы отследить направление сходимости при достижении единодушия. Для того чтобы оценить точность прогнозов, которые эксперт делает на каждом этапе процесса сходимости, а затем сравнить его решения с решениями других экспертов, можно воспользоваться критериями сходимости, которые приводятся в следующем разделе.

Точность может быть определена с помощью мер отклонения. Для оценки точности решений экспертов можно воспользоваться различными мерами отклонения. Чтобы можно было оценить измеряемый объект независимо от его типа, необходимо стандартизировать меры отклонения. Это можно сделать с помощью единицы измерения, связанной с интерквартильной шириной (см. ниже) [41]. Другой метод стандартизации различий между прогнозом эксперта и «истинной величиной» основан на измерении этих различий с помощью стандартного отклонения от среднего значения. При использовании этого метода критерии точности тесно связаны с критериями надежности, поскольку и те и другие выражают отклонение данной экспертом оценки от среднего значения выборочного распределения оценок, полученных для каждого из оцениваемых объектов.

## Определение степени согласия

Для определения степени согласия можно использовать следующие методы.

## Методы ранговой корреляции <sup>1)</sup>

Методы ранговой корреляции были разработаны главным образом Кендэллом [42].

### Коэффициент соответствия

Коэффициент соответствия может быть использован в тех случаях, когда необходимо достичь согласия при ранжировании нескольких объектов. В данном случае информация может

Объекты

|     | A   | B   | C | D | E | ... | n   |
|-----|-----|-----|---|---|---|-----|-----|
| 1   | 1   | 3   | 6 | 4 | n |     | n-1 |
| 2   | n-1 | n   | 2 | 3 | 6 |     | 1   |
| 3   | 1   | 2   | 4 | 6 | n |     | n-1 |
| 4   | n   | n-1 | 5 | 2 | 1 |     | 3   |
| 5   |     |     |   |   |   |     |     |
| 6   |     |     |   |   |   |     |     |
| ⋮   |     |     |   |   |   |     |     |
| m-1 |     |     |   |   |   |     |     |
| m   |     |     |   |   |   |     |     |

Сумма оценок == == == == == == ==

Рис 16.7. Таблица оценок объектов, данных экспертами [42]. (С разрешения Charles Griffin and Co. Ltd., London.)

Числа в таблице означают оценки, которые каждый из экспертов дал  $n$  объектам.

быть представлена так, как показано на рис. 16.7. Сумма оценок, данных всеми наблюдателями, представляется в следующем виде:

$$\text{Сумма оценок} = \frac{1}{2} mn(n+1),$$

где  $n$  — число оцениваемых объектов или обсуждаемых вопросов и  $m$  — число наблюдателей, экспертов или лиц, проводящих оценку. Средняя суммарная оценка равна  $\frac{1}{2}m(n+1)$ .

Можно вычислить отклонение суммы оценок, данных каждым наблюдателем, от средней суммарной оценки и найти величину  $S$ , равную сумме квадратов отклонений.

Кендэл определяет коэффициент соответствия  $W$  следующим образом:

$$W = \frac{12S}{m^2(n^3 - n)}.$$

<sup>1)</sup> Значительная часть материала данного раздела заимствована из работы Kendall M. G., Rank Correlation Methods, 1962, ch. 6, 11, pp. 94—95, 148—149. (С разрешения Charles Griffin and Co., Ltd., London.)

Если между всеми наблюдателями проявляется согласие, то величина  $W$  принимает максимальное значение, равное 1. Малое значение коэффициента указывает на существенные разногласия между наблюдателями. Следует отметить, что простая сумма оценок не может служить критерием при ранжировании объектов. Для принятия окончательного решения лучше всего воспользоваться методом парного сравнения оценок нескольких наблюдателей, который применяется при вычислении коэффициента согласия (см. ниже). (Применение коэффициента соответствия рассматривается в работе [43].)

### Матрица сравнения и коэффициент согласия

Для определения коэффициента согласия требуются по существу те же вычисления, что и для определения коэффициента соответствия. Отличие заключается лишь в том, что используется информация об относительных оценках. Способ определения коэффициента согласия основан на парном сравнении, с помощью которого, исходя из общего мнения всех наблюдателей, задается отношение предпочтения между объектами. Для вычисления коэффициента согласия можно воспользоваться следующей процедурой.

Пусть  $m$  — число наблюдателей,  $n$  — число объектов, между которыми проводятся парные сравнения. Выполним следующие действия.

Шаг 1. Построим «матрицу сравнения», строки и столбцы которой соответствуют объектам, между которыми проводится сравнение (рис. 16.8).

Шаг 2. Предложим каждому наблюдателю произвести выбор между каждой парой объектов. Если  $A > B$  ( $A$  предпочтительнее  $B$ ), то на месте  $AB$  (строка  $A$ , столбец  $B$ ) следует записать 1. Если  $A < B$  ( $B$  предпочтительнее  $A$ ), то на месте  $AB$  следует записать 0. Матрица сравнения, показывающая парное соотношение между объектами, строится для каждого наблюдателя.

Шаг 3. Суммируем соответствующие коэффициенты парного предпочтения, полученные каждым наблюдателем, и строим «общую матрицу сравнения», определяющую отношение предпочтения между объектами, заданное с учетом общего мнения всех наблюдателей (рис. 16.9).

Шаг 4. Вычисляем сумму всех элементов ( $\Sigma a$ ) общей матрицы сравнения и сумму квадратов всех ее элементов ( $\Sigma a^2$ ).

Шаг 5. Определяем величину  $M$ :

$$M = \frac{1}{2} \Sigma [a(a-1)] = \frac{1}{2} (\Sigma a^2) - \frac{1}{2} (\Sigma a),$$



где  $a$  — элемент «общей матрицы сравнения», или сумма коэффициентов предпочтения, вычисленных при каждом парном сравнении. Величины  $\Sigma a$  и  $\Sigma a^2$  были получены на шаге 4.

Объекты или субъекты

|     |   |   |   |   |     |   |
|-----|---|---|---|---|-----|---|
|     | A | B | C | D | ... | n |
| A   |   | 1 |   |   |     |   |
| B   | 0 |   | 0 |   |     |   |
| C   |   |   |   |   |     |   |
| D   |   |   |   |   |     |   |
| ... |   |   |   |   |     |   |
| n   |   |   |   |   |     |   |

Объекты или субъекты

Рис. 16.8. Матрица парного сравнения для каждого наблюдателя.

Объекты или субъекты

|       |   |   |   |   |     |   |                             |                                       |
|-------|---|---|---|---|-----|---|-----------------------------|---------------------------------------|
|       | A | B | C | D | ... | n | Сумма всех элементов строки | Сумма квадратов всех элементов строки |
| A     |   |   |   |   |     |   |                             |                                       |
| B     |   |   |   |   |     |   |                             |                                       |
| C     |   |   |   |   |     |   |                             |                                       |
| D     |   |   |   |   |     |   |                             |                                       |
| ...   |   |   |   |   |     |   |                             |                                       |
| n     |   |   |   |   |     |   |                             |                                       |
| Итого |   |   |   |   |     |   | $\Sigma a$                  | $\Sigma a^2$                          |

Объекты или субъекты

Рис. 16.9. Общая матрица парного сравнения для всех наблюдателей или экспертов.

Шаг 6. Находим значение коэффициента согласия  $u$ :

$$u = [2M / \binom{m}{2} \binom{n}{2}] - 1$$

или

$$u = \frac{4 [\Sigma a^2 - \Sigma a]}{m(m-1)n(n-1)} - 1.$$

При полном единодушии  $u=1$ . При уменьшении степени согласия коэффициент согласия уменьшается.

### Матрица S — R-соответствия

В психологии матрица S — R-соответствия описывает взаимосвязь между входными сигналами и ответными выходными сигналами. Число  $n_{ij}$  в позиции  $(i, j)$  матрицы S—R-соответствия (рис. 16.10) означает количество выходных сигналов  $j$ , поступающих в ответ на входной сигнал  $i$ , где  $i = 1, 2, \dots, n$ ,  $j = 1, 2, \dots, n$ .

Число входных и выходных сигналов одинаково и равно  $n$ . Когда между входными и выходными сигналами имеет место

полное соответствие, заполненными являются только элементы главной диагонали, и все величины  $n_{ij}$  равны между собой.

Иногда матрицу  $S$ — $R$ -соответствия называют «матрицей неупорядоченности», поскольку, если имеет место неполное  $S$ — $R$ -соответствие, она показывает степень «неупорядоченности» между входными и выходными сигналами. Понятие матрицы неупорядоченности используется, например, в многомерном статистическом анализе [44, 45]

|                                           |         | Ответные<br>выходные сигналы $R$<br>(поставленные оценки) |          |          |  |       |
|-------------------------------------------|---------|-----------------------------------------------------------|----------|----------|--|-------|
|                                           |         | $j = 1$                                                   | 2        | 3        |  | $n$   |
| Входные сигналы $S$<br>(ожидаемые оценки) | $i = 1$ | $n_{11}$                                                  | $n_{12}$ |          |  |       |
|                                           | 2       | $n_{21}$                                                  |          |          |  |       |
|                                           | 3       |                                                           |          |          |  |       |
|                                           | 4       |                                                           |          |          |  |       |
|                                           |         |                                                           |          | $n_{ij}$ |  | $n_i$ |
|                                           | $n$     |                                                           |          |          |  |       |
|                                           |         |                                                           |          | $n_j$    |  |       |

Рис. 16 10. Матрица  $S$ — $R$ -соответствия.

Матрицу  $S$ — $R$ -соответствия, или «матрицу неупорядоченности», можно применять для описания степени взаимосогласия экспертов и представления результатов. Объекты оценки экспертов могут быть рассмотрены в качестве входных сигналов, а сами оценки — в качестве ответных выходных сигналов.

Номера строк матрицы соответствуют *ожидаемым* оценкам, причем первая строка соответствует объекту с ожидаемой оценкой 1, вторая строка — объекту с ожидаемой оценкой 2 и т. д.

Номера столбцов соответствуют *действительным* оценкам, данным экспертами, причем первый столбец соответствует оценке 1, второй столбец — оценке 2 и т. д.

Когда эксперт ставит оценку 1 объекту, ожидаемая оценка которого также равна 1, 1 заносится в позицию (1, 1) (строка 1, столбец 1). Когда эксперт ставит оценку 2 объекту, ожидаемая оценка которого равна 1, 1 заносится в позицию (1, 2) (строка 1, столбец 2). Когда эксперт ставит оценку 1 объекту, ожидаемая оценка которого равна 2, 1 заносится в позицию (2, 1) и т. д. Подобная процедура проводится всеми экспертами по всем объектам. После заполнения матрица  $S$ — $R$ -соответ-

ствия содержит оценки, которые эксперты поставили каждому из объектов.

Заметим, что матрица  $S$  —  $R$ -соответствия, или матрица неупорядоченности, отличается от «общей матрицы сравнения», изображенной на рис. 16.9, в которой оценки  $m$  экспертов были выставлены, исходя из парных сравнений ( $A > B$  или  $B > A$  и  $A$  несравнимо с  $A$ ). В матрице  $S$  —  $R$ -соответствия тождество  $A = A$  желательно, поскольку оно означает согласие.

Для определения степени согласия можно воспользоваться двумя критериями, связанными с матрицей  $S$  —  $R$ -соответствия. Первый из них имеет отношение к методам ранговой корреляции, второй — к теории информации.

#### Матрица $S$ — $R$ -соответствия и коэффициент соответствия

Как было указано выше, коэффициент соответствия Кендэла равен

$$W = \frac{12S}{m^2(n^3 - n)},$$

где  $S$  — сумма квадратов отклонений суммы оценок от среднего значения суммы.

Пусть  $n$  — число объектов (или субъектов), а  $m$  — число наблюдателей (или экспертов). Тогда

$$\text{Сумма оценок} = \frac{1}{2} mn(n+1),$$

$$\text{Среднее значение суммы оценок} = \frac{1}{2} m(n+1).$$

Вычислим эти величины для каждого из трех случаев:

**Случай 1.** Четыре эксперта проводят оценку четырех объектов. Ожидаемые оценки полностью соответствуют оценкам, поставленным экспертами. Последние единодушны в своих оценках. Данный случай иллюстрируется матрицей  $S$  —  $R$ -соответствия, изображенной на рис. 16.11, а. Выполняется следующая последовательность действий.

**Шаг 1.** Строим матрицу  $S$  —  $R$ -соответствия с действительными оценками, приписанными каждому объекту всеми экспертами.

**Шаг 2.** Вычисляем сумму поставленных оценок в каждом столбце:

|                                                        |               |               |                 |                 |
|--------------------------------------------------------|---------------|---------------|-----------------|-----------------|
| Ожидаемая оценка                                       | 1             | 2             | 3               | 4               |
| Произведение числа наблюдателей на поставленную оценку | $4 \cdot 1$   | $4 \cdot 2$   | $4 \cdot 3$     | $4 \cdot 4$     |
| Сумма оценок в каждом столбце                          | $\frac{4}{4}$ | $\frac{8}{8}$ | $\frac{12}{12}$ | $\frac{16}{16}$ |

**Шаг 3А.** Находим сумму оценок:

$$\text{Сумма оценок} = \frac{1}{2} mn(n+1) = \frac{1}{2} \cdot 4 \cdot 4 \cdot 5 = 40.$$

Шаг 3Б. Определяем среднее значение суммы оценок:

Среднее значение суммы оценок  $= \frac{1}{2} m (n + 1) = \frac{1}{2} \cdot 4 \cdot 5 = 10$ .

Шаг 4. Находим отклонение каждой суммы оценок от среднего значения:

|                                              |    |    |    |    |
|----------------------------------------------|----|----|----|----|
| Ожидаемая оценка                             | 1  | 2  | 3  | 4  |
| Сумма оценок                                 | 4  | 8  | 12 | 16 |
| Отклонение каждой суммы от среднего значения | -6 | -2 | +2 | +6 |

Шаг 5. Вычисляем квадраты отклонений от среднего значения суммы и их сумму:

36 4 4 36

Сумма квадратов отклонений  $= 36 + 4 + 4 + 36 = 80$ .

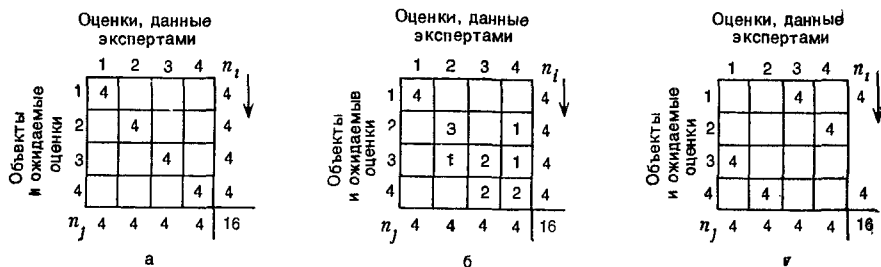


Рис. 16.11 Использование матрицы  $S-R$ -соответствия в следующих случаях: а) ожидаемые оценки полностью соответствуют оценкам, поставленным экспертами, последние единодушны в своих оценках, б) имеет место неполное соответствие и неполное согласие, в) ожидаемые оценки не соответствуют оценкам, поставленным экспертами; последние проявляют единодушие.

Шаг 6. Определяем значение коэффициента соответствия

$$W = \frac{12S}{m^2(n^3 - n)} = \frac{12 \cdot 80}{4^2(64 - 4)} = 1,$$

$$W = 1,$$

что говорит о полном согласии между экспертами при оценке ими четырех объектов.

Случай 2. Четыре эксперта проводят оценку четырех объектов. Имеет место неполное соответствие между ожидаемыми и поставленными оценками. Эксперты не вполне единодушны в своих оценках. Данный случай иллюстрируется матрицей  $S-R$ -соответствия, изображенной на рис. 16.11, б. Имеем следующую последовательность действий.

Шаг 1. Строим матрицу  $S-R$ -соответствия с действительными оценками, приписанными каждому объекту всеми экспертами.

Шаг 2. Вычисляем сумму поставленных оценок в каждом столбце:

| Ожидаемая оценка                                       | 1     | 2     | 3     | 4     |
|--------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Произведение числа наблюдателей на поставленную оценку | 4 · 1 | 3 · 2 | 1 · 2 | 2 · 3 |
|                                                        |       | 1 · 4 | 2 · 3 | 2 · 4 |
|                                                        |       |       | 1 · 4 |       |
| Сумма оценок в каждом столбце                          | 4     | 10    | 12    | 14    |

Шаг 3. Этот шаг аналогичен шагу 3 для случая 1:

$$\text{Сумма оценок} = 40,$$

$$\text{Среднее значение суммы оценок} = 10.$$

Шаг 4. Находим отклонение каждой суммы оценок от среднего значения:

$$-6 \quad 0 \quad +2 \quad +4$$

Шаг 5. Вычисляем квадраты отклонений:

$$36 \quad 0 \quad 4 \quad 16$$

$$\text{Сумма квадратов отклонений} = 36 + 0 + 4 + 16 = 56.$$

Шаг 6. Определяем значение коэффициента соответствия:

$$W = \frac{12 \cdot 56}{16 \cdot 60} = 0,7.$$

Следовательно,  $W = 0,7$ , т. е. имеет место не полное согласие.

**Случай 3.** Четыре эксперта проводят оценку четырех объектов. Ожидаемые оценки не соответствуют оценкам, поставленным экспертами, но последние проявляют единодушие (рис. 16.11, в).

| Ожидаемая оценка                                       | 1                    | 2     | 3     | 4     |
|--------------------------------------------------------|----------------------|-------|-------|-------|
| Произведение числа наблюдателей на поставленную оценку | 4 · 3                | 4 · 4 | 4 · 1 | 4 · 2 |
| Сумма оценок в каждом столбце                          | 12                   | 16    | 4     | 8     |
| Отклонение от среднего значения                        | +2                   | +6    | -6    | -2    |
| Квадрат отклонения                                     | 4                    | 36    | 36    | 4     |
| Сумма квадратов отклонений                             | 4 + 36 + 36 + 4 = 80 |       |       |       |

Коэффициент соответствия равен

$$W = \frac{12 \cdot 80}{16 \cdot 60} = 1,0,$$

что говорит о полном согласии.

Для определения степени согласия наблюдателей или экспертов можно также использовать критерии теории информации, которые описаны в следующем разделе.

## Критерии теории информации

Методы, используемые для анализа процесса передачи информации [46, 47], основанные на принципах теории информации и математической теории связи, значительный вклад в создание которых внес Шеннон [48], можно также применить для определения степени соответствия между ответом эксперта и получаемой им информацией, а также для изучения ответов нескольких экспертов, получающих одну и ту же информацию. В каждом случае максимум согласия достигается тогда, когда имеет место полное соответствие между получаемой информацией (входом) и ответом (выходом). Теория, изучающая такое соответствие, схожа с анализом процесса передачи информации [49].

Обратимся опять к матрице  $S - R$ -соответствия, изображенной на рис. 16.10. При условии, что существуют  $n$  входных и  $m$  выходных сигналов, можно записать следующие соотношения:

$$\text{Сумма входных сигналов} = \sum_i n_i = \bar{n},$$

$$\text{Сумма выходных сигналов} = \sum_j n_j = n.$$

Независимо от того, имеет место полное  $S - R$ -соответствие или нет, справедливы соотношения:

$$\sum_{i,j} n_{ij} = \sum_i n_i = \sum_j n_j = n.$$

В соответствии с теорией Шеннона (см. гл. 18) можно вычислить энтропию, характеризующую меру неупорядоченности входной и выходной информации.

Согласно теории информации, количество информации на входе равно

$$H(x) = \sum_i p_i \log_2 \frac{1}{p_i} \text{ бит.}$$

Информация на выходе определяется величиной

$$H(y) = \sum_j p_j \log_2 \frac{1}{p_j} \text{ бит.}$$

В общем случае, когда рассматриваются входные и ответные, выходные, сигналы, суммарное количество информации, содержащейся в этих сигналах, определяется величиной

$$H(x, y) = \sum_{i,j} p_{ij} \log_2 \frac{1}{p_{ij}} \text{ бит,}$$

где  $p_i$  и  $p_j$  — безусловные вероятности появления соответственно входных и выходных сигналов, а  $p_{ij}$  — совместная вероятность появления соответствующих входных и выходных сигналов. Эти вероятности можно вычислить, разделив величины  $n_i$ ,  $n_j$  и  $n_{ij}$  на общее число событий  $n$ ; все логарифмы берутся по основанию 2. Количество информации, передаваемой со входа на выход, определяется следующим выражением:

$$T(x, y) = H(x) + H(y) - H(x, y) \text{ бит.}$$

Согласно теории информации, когда выходные сигналы не связаны с входными сигналами, пересечение  $H(x)$  и  $H(y)$  пусто и  $T(x, y) = 0$ . В другом экстремальном случае, когда между входными и выходными сигналами установлено полное соответствие,  $T(x, y)$  достигает своего наибольшего значения, т. е. количество передаваемой информации достигает максимума.

Понятия теории информации могут быть использованы для решения проблем, связанных с согласованием мнений и достижением единодушия. Получая одну и ту же информацию, эксперты дают одинаковые ответы, если между ними полное согласие. Подобная ситуация может быть описана с помощью  $S-R$ -матрицы, где ожидаемые оценки объектов образуют множество входных сигналов, а действительные оценки, данные экспертами, образуют множество выходных сигналов. Если действительные оценки, данные экспертами, строго соответствуют ожидаемым оценкам, то  $S-R$ -соответствие является полным. Степень согласия определяется величиной  $T(x, y)$ , которая на рассматриваемом множестве входных и выходных сигналов достигает своего максимума. Любая другая ситуация, когда имеет место неполное согласие между экспертами, будет описана с помощью матрицы, в которой заполненными окажутся не только элементы главной диагонали. В этом случае количество информации, передаваемой со входа на выход, будет меньше своего максимального значения.

**Случай 1.** Ожидаемые оценки полностью соответствуют оценкам, поставленным экспертами, последние единодушны в своих оценках.

Четыре эксперта проводят оценку четырех объектов. Объекты упорядочены в соответствии с их ожидаемыми оценками. Соответствующим образом упорядочены и строки  $S-R$ -матрицы (см. рис. 16.11, а). Все четыре эксперта оценили объекты в соответствии с их ожидаемыми оценками. Каждый элемент главной диагонали представляет одно из четырех решений. По-

сле несложных вычислений имеем

$$T(x, y) = H(x) + H(y) - H(x, y),$$

$$H(x) = \log n - \frac{1}{n} \sum_i n_i \log n_i,$$

$$H(y) = \log n - \frac{1}{n} \sum_l n_l \log n_l,$$

$$H(x, y) = \log n - \frac{1}{n} \sum_i \sum_l n_{il} \log n_{il}.$$

При полном согласии справедливы следующие соотношения:

$$H(x) = \log 16 - \frac{1}{16} \left[ \sum_{i=1}^4 4 \log 4 \right] = \log 16 - \log 4 = \log 4,$$

$$H(y) = \log 4,$$

$$H(x, y) = \log 16 - \log 4 = \log 4,$$

$$T(x, y) = 2 + 2 - 2 = 2.$$

Все эксперты проявляют полное единодушие, и их оценки объектов соответствуют ожидаемым оценкам.

**Случай 2.** Неполное соответствие между ожидаемыми и поставленными оценками. Эксперты не вполне единодушны в своих оценках (см. рис. 16.11, б).

В этом случае имеем

$$H(x) = \log 16 - \frac{1}{16} \left[ \sum_{i=1}^4 4 \log 4 \right] = \log 16 - \log 4 = \log 4 = 2,$$

$$H(y) = \log 4 = 2,$$

$$H(x, y) = \log 16 - \frac{1}{16} [4 \log 4 + 3 \log 3 + 3(2 \log 2) + 3(1 \log 1)] = \\ = \log 16 - \frac{1}{16} [8,0 + 4,74 + 6,0 + 0] = 4 - 1,17 = 2,83,$$

$$T(x, y) = 2 + 2 - 2,83 = 1,17,$$

в то время как при полном согласии экспертов  $T(x, y) = 2$ .

**Случай 3.** Ожидаемые оценки не соответствуют оценкам, поставленным экспертами, но последние проявляют единодушие (см. рис. 16.11, в).

$$H(x) = \log 4 = 2,$$

$$H(y) = \log 4 = 2,$$

$$H(x, y) = \log 16 - \log 4 = \log 4 = 2,$$

$$T(x, y) = 2 + 2 - 2 = 2.$$



Итак, при полном согласии экспертов, как и в первом случае,  $T(x, y) = 2$ .

Таким образом, применение матрицы  $S-R$ -соответствия вместе с коэффициентом соответствия или критериями теории информации может принести существенную пользу при исследовании процессов сходимости, таких, какие, например, имеют место при использовании дельфийского метода.

## Меры отклонения

Оценки экспертов подчиняются частотному распределению. Поэтому для определения степени согласия между ними имеет смысл воспользоваться мерами отклонения.

### Медиана и интерквартильная широта распределения

Браун и Хелмер предлагают использовать медиану распределения ответов как «наиболее подходящее число, характеризующее коллективное мнение группы людей», а интерквартильную широту как «критерий расхождения экспертов во взглядах» [50]. На этих двух критериях основано определение степени согласия экспертов. Выражая отклонения в соответствующих единицах измерения, мы тем самым делаем меру отклонения безразмерной величиной:

$$m = \max[|Q_1 - T|, |Q_3 - T|],$$

где  $T$  — правильный ответ на каждый вопрос,  $Q_1$  — первая квартиль на первом этапе ответов,  $Q_3$  — третья квартиль на первом этапе ответов.

Браун и Хелмер считают также, что эксперты должны оценить степень достоверности и точности своих ответов. По их мнению, ответы экспертов, которые лучше осведомлены в изучаемом вопросе (а также представителей специальной группы, избираемой самими экспертами), являются более достоверными, чем ответы остальных экспертов, и поэтому должны иметь больший вес при определении степени согласия, хотя создатели рассмотренных нами методов не придерживались этого утверждения [50].

### Среднее значение и дисперсия

Андерсон, Миллер и др. полагают, что для выявления разногласий между экспертами, возникающих после каждой итерации, следует воспользоваться понятиями среднего значения и дисперсии распределения ответов. Дисперсия оценки, по их мнению, «указывает на степень риска, которому эксперты под-

вергают проект, принимая в качестве окончательного решения среднее значение полученных ими результатов». Зная среднее значение и дисперсию (а также характер распределения ответов), эксперты могут использовать эти сведения при выборе своей стратегии с тем, чтобы не принимать рискованных решений. Утверждение Андерсона, Миллера и др. о том, что уменьшение различия в ответах экспертов является результатом их «нежелания рисковать», представляет собой новое объяснение процесса сходимости дельфийского метода [51]. По данному вопросу необходимо провести более глубокие исследования.

### Среднее абсолютное отклонение

Для того чтобы на каждой итерации дельфийского процесса определять степень согласия между экспертами и на каждом этапе сравнивать между собой их решения, можно также воспользоваться понятием среднего абсолютного отклонения.

*Среднее абсолютное отклонение  $d_{ma}$  определяется как*

$$d_{ma} = \sum_{i=1}^N |e_i| f(e_i),$$

где  $|e_i|$  — абсолютное значение ошибки, или величина, характеризующая различие между фактическим ответом и средним значением ответа,  $f(e_i)$  — относительная частота возникновения ошибки с абсолютным значением  $|e_i|$ .

В большинстве случаев величина среднего абсолютного отклонения позволяет определить, насколько полученные экспертами результаты отличаются от их среднего значения. Однако, поскольку величина  $d_{ma}$  содержит только абсолютные значения отклонений, ее недостаточно для того, чтобы определить, как изменяются решения каждого эксперта в отдельности: в направлении к среднему или от него. Иногда такая информация необходима для определения изменений позиции эксперта от итерации к итерации. Например, в случае, когда проводится оценка объектов, величина  $d_{ma}$  не указывает на то, сколько экспертов повысило свою оценку и сколько понизило ее. Она характеризует только суммарные изменения, и поэтому при ее использовании нельзя получить достаточно полной информации [52].

### Коэффициент вариации и отношение согласия

Коэффициентом вариации называется стандартное отклонение, выраженное в процентном отношении, от среднего значения. Коэффициент вариации таким образом является мерой «величины отклонения относительно размера измеряемого

объекта». Понятие коэффициента вариации разрешает «проблему сравнимости», возникающую в том случае, когда представляемые решения выражены в разных единицах измерения. Дайсер использовал коэффициент вариации для «определения степени согласия членов комиссии». «Отношение согласия» — это отношение между последовательными коэффициентами вариации. Оно характеризует скорость изменения коэффициента вариации и быстроту достижения экспертами единодушного решения или расхождения их точек зрения.

Автор предостерегает читателя от попыток пользоваться отношением согласия вне связи с коэффициентом вариации, поскольку это приведет к неверным выводам относительно сходимости к единодушному решению [53].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Bishop A. B., Oglesby C. H., Willeke G. E., Community Attitudes Toward Freeway Planning: A Study of California's Planning Procedures, Highway Research Record, 305, 42—43 (1970).
2. Там же, с. 49.
3. Mason R. O., A Dialectical Approach to Strategic Planning; *Management Science*, 15, 8, B-403 — B-414 (1969).
4. Van Gigh J. P., Planning for Freedom, *Management Science*, 22, 9, 949—961 (May 1976). См. также гл. 19.
5. См. п. 1, с. 46—48.
6. Mumphy A. J., Jr., Seley J. E., Wolpert J., A Decision Model for Location of Controversial Facilities, *Journal of the American Institute of Planners*, 37, 6, 397—402 (November 1971).
7. См. п. 1, с. 48.
8. Bishop A. B., Oglesby C. H., Willeke G. E., Socio-Economic and Community Factors in Planning Urban Freeways. Project on Engineering-Economic Planning, Stanford University, U. S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, R&D Report, September 1970, p. 45.
9. Fielding G. J., Group Dynamics in the Urban Freeway Decision Process, School of Social Sciences, University of California, in cooperation with State of California Transportation Agency, Department of Public Works, Division of Highways and U. S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Bureau of Public Works, September 1971, p. 13.
10. Там же, с. 10—11.
11. Hillegas T. J., Schimpeler C. C., Grecco W., Community Decision Structure and Urban Planning Process, *Journal of the Urban Planning and Development Division*, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, 96, UPI (March 1970), p. 17—22.
12. National Environmental Policy Act of 1969, Public Law 91—190, 91st Congress of the United States, Statute 1075, January 1, 1970. См. также California State Environmental Quality Act of 1970, ch. 143 (Division 13, Public Resources Code), approved September 18, 1970 и Guidelines for Implementation of the California Environmental Quality Act of 1970, State of California Government Code Division 6, Resources Agency, ch. 3, Title 14, February 10, 1973.
13. Winkler R. L., The Consensus of Subjective Probability Distributions, *Management Science*, 15, 2, B-61 — B-75 (October 1968).
14. R. L. Keeney, A Group Preference Axiomatization with Cardinal Utility, *Management Science*, 23, 2, 140—145 (October 1976).

15. Kneese A. V., *Management Science, Economics and Environmental Science, Management Science*, 19, 10, 1122—1137 (June 1973); Dalkey N. C., Group Decision Analysis, Report UCLA-ENG-7571, Los Angeles, School of Engineering and Applied Science, University of California, August 1975; Bodily S. E., A Consensus Achieving Process for Group Preference, Working Paper WP 871-76, Cambridge, Mass., Alfred Sloan School of Management, MIT Press, September 1976.
16. Blin J. M., Fuzzy Sets and Social Choice, *Journal of Cybernetics*, 3, 4, 28—36 (1974).
17. Chacko G. K. (ed.), *Systems Approach to Environmental Pollution*, Arlington, Va., Operations Research Society of America, Health Applications Section, 1972, ch. 1, 2.
18. Для того чтобы перевести денежные затраты различных служб по переработке твердых отходов в баллы полезности, была применена функция полезности.
19. METROPLAN, Solid Waste Management Plan, prepared by Metropolitan Planning Commission—Kansas City Region. Adopted by the Mid-American Regional Council, Kansas City, Mo., 1971; Hekimian K. K., Laitin H., Bowerman F. R., The Application of Utility and Decision Theory to Solid Waste Management, Chacko (ed.), pp. 389—419.
20. Dalkey N. C., Helmer O., An Experimental Application of the Delphi Method to the Use of Experts, *Management Science*, 9, 3, 458 (1963).
21. Dalkey N. C., частное сообщение, April 1973.
22. Helmer O., Rescher N., On the Epistemology of the Inexact Sciences, *Management Science*, 6, 1 (October 1959).
23. Olson M., Jr., The Logic of Collection Action: Public Goods and the Theory of Groups, Cambridge, Mass., Harvard University Press, 1965; Buchanan J. M., Tullock G., The Calculus of Consent, Ann Arbor, Mich., University of Michigan Press, 1962; Verba S., Democratic Participation, in Gross B. M. (ed.), Social Intelligence for America's Future: Explorations in Societal Problems, Allyn and Bacon, Boston, 1969, pp. 126—159; Partidge P. H., Consent and Consensus, New York, Praeger, 1971.
24. Livingstone J. C., Thompson R. G., The Consent of the Governed (2nd ed.), Macmillan, New York, 1966, p. 15.
25. Pill J., The Delphi Method: Substance, Context, A Critique and an Annotated Bibliography, *Socio-Economic Planning Sciences*, 5, 1, 57—71 (February 1971).
26. См. п. 20, с. 458—467.
27. Dalkey N. C., *Studies in the Quality of Life: Delphi and Decision-Making*, Heath, Lexington, Mass., 1972.
28. В гл. 11 мы описали, как получить дерево решений, нормированные веса и взвешенные оценки (баллы), которые называются «составной оценкой».
29. Kunreuther H., Extensions of Bowman's Theory on Managerial Decision-Making, *Management Science*, 15, 8, B-415—B-439 (April 1969); Little J. D. C., Models and Managers: The Concept of a Decision Calculus, *Management Science*, 16, 8 (April 1970); Ebert R. J., Environmental Structure and Programmed Decision Effectiveness, *Management Science*, 19, 4, pt. I (December 1971); Moskowitz H., Miller J. G., Information and Decision Systems for Production Planning, *Management Science*, 22, 3, 359—370 (November 1975).
30. Mandanis G. P., The Future of the Delphi Technique, in Arnfield R. V. (ed.), *Technological Forecasting*, Edinburgh University Press, Edinburgh, 1969, pp. 159—169.
31. См. п. 19: Hekimian, Laitin, and Bowerman, p. 414.
32. Sackman H., Summary Evaluation of Delphi, *Policy Analysis*, 1, 4, 693—718 (Fall 1975). Данная статья является сокращенным вариантом работы

- Sackman H., Delphi Critique Expert Opinion, Forecasting, and Group Process, Heath, Lexington, Mass., 1975.
33. Turoff M., A Synopsis of Innovation by the Delphi Method, the 38th National Meeting of the Operations Research Society of America, Oct. 28—30, 1970, Detroit, Michigan, p. 1.
  34. Turoff M., Delphi Conferencing: Computer Based Conferencing with Anonymity, Washington D. C., Executive Office of the President, Office of Emergency Preparedness, Office of the Assistant Director for Resource Analysis, March 1971, p. 1.
  35. См. п. 34, с. 60.
  36. См. п. 22, с. 68.
  37. Van Gigch J. P., Hommes R., The Reliability and the Accuracy of Experts and the Delphi Method, Fall 1970 Eleventh American Meeting of the Institute of Management Sciences, Los Angeles, Calif., Oct. 19—21, 1970.
  38. Betz F., On the Management of Inquiry, *Management Science*, 18, 4, B-126 (December 1971).
  39. Там же, с. B-129.
  40. Barford N. C., Experimental Measurements: Precision, Error and Truth, Addison-Wesley; Reading, Mass., 1967, p. 3.
  41. Brown B., Helmer O., Improving the Reliability of Estimates Obtained from a Consensus of Experts, Report No. P-2986, Santa Monica, Calif., The Rand Corporation, 1964.
  42. Kendall M. G., Rank Correlation Methods, Charls Griffin, London, 1962. [Имеется перевод: Кендэл М. Дж. Ранговые корреляции. — М.: Статистика 1975.]
  43. Turban E., Metersky M. L., Utility Theory Applied to Multivariate System Effectiveness Evaluation, *Management Science*, 17, 12, B-817—B-828 (August 1971).
  44. Morrison D. G., On the Interpretation of Discriminant Analysis, *Journal of Marketing Research*, 6, 156—163 (May 1969).
  45. Anderson T. W., Introduction to Multivariate Statistical Analysis, Wiley, New York, 1958. [Имеется перевод: Андерсон Т. Введение в многомерный статистический анализ. — М.: Физматиз, 1963.]
  46. McGill W. J., Multivariate Information Transmission, *Psychometrika*, 19, 2 (June 1954).
  47. Attneave F., Applications of Informations Theory to Psychology, Holt, Rinehart and Winston, New York, 1959.
  48. Shannon C. E., Weaver W., The Mathematical Theory of Communication, Urbana, Ill., University of Illinois Press, 1949.
  49. Crossman E. R., Nagarvala Ph., An Informational Analysis of Refraction, Human Factors in Technology Working Paper HFT 69-6, Department of Industrial Engineering and Operations Research; University of California, Berkeley October 1969; Nagarvala Ph. J., A Program Package to Compute Information-Transfer Rates From Discrete Input/Output Matrices, Human Factors in Technology Working Paper 69-7, Department of Industrial Engineering and Operations Research, University of California, Berkeley, October 1969.
  50. См. п. 41, с. 2.
  51. Anderson L. P., Miller V. V. et al., The Measurement and Prediction of Innovative Capabilities of Management Systems, the XIV International Meeting of the Institute of Management Science, Mexico City, August 1967.
  52. См. п. 37, с. 15—20.
  53. Dicer G. H., The Delphi Technique — A Practical Research Methodology for Business Problems, Proceedings of the First Annual Meeting of the American Institute of Decision Sciences, New Orleans, Oct. 30—31, 1969.

### ЭКСПЕРТЫ, ЭКСПЕРТИЗА И ДИАГНОЗ

#### Введение

После создания дельфийского метода понятие согласия стало неразрывно связано с процедурой выявления мнений экспертов. Независимо от того, сторонниками какой теории достижения согласия мы являемся — «элитной» или мажоритарной, — эксперты занимают центральное место в планировании и проектировании систем, а также в разработке системного подхода. В настоящей главе мы опишем функции экспертов и назначение экспертизы и покажем их роль в системе познания и процессе принятия решений. Мы остановимся на трех типах моделей, с помощью которых эксперты приходят к правильному решению при проектировании систем: на моделях построения суждений, или оценочных моделях, на эпистемологических моделях, или моделях познания, и диагностических моделях. Довольно значительная часть главы посвящена традиционному и современному подходу к проблеме диагностирования. Предполагается, что в будущем процедурам диагностирования будет уделено больше внимания, поскольку они являются важным инструментом исследования системных экспертов, которые должны уметь определять нарушения в работе системы и приводить ее в нормальное рабочее состояние.

#### I. Эксперты и экспертиза

##### Переход от новичка к эксперту

Планирование и проектирование осуществляются так называемыми экспертами. Независимо от того, являются они профессионалами или нет, важно определить, что делает их экспертами. Они обладают немалыми полномочиями и каждый день принимают решения, которые на всех нас оказывают воздействие.

Нас интересует, как эксперты проводят экспертизу, как они мыслят, как принимают решения. Ясно, что подобные вопросы относятся ко всем ЛПР, решающим как важные, так и

незначительные проблемы. Время от времени все мы становимся экспертами на работе, дома или в туристическом походе.

Для изучения этих вопросов вначале мы должны показать, что новичку для принятия решения требуется больше информации, чем эксперту. Рассмотрим пример с водителем автомобиля. Новичка, который только учится вождению, можно определить по его нерешительным действиям. В частности, он не научился еще определять степени важности получаемой им информации. Остановимся на этом более подробно.

Поступающую водителю информацию можно рассматривать как сигнал или переменную, которую необходимо учитывать при решении проблемы или принятии решения. Такой информацией является, например, число машин на дороге, их скорость, местонахождение автомобиля, которым мы управляем, по отношению к пункту назначения. Часть поступающей информации связана непосредственно с управлением автомобиля. Это сигналы, поступающие с приборной доски, шумы, вибрация (нормальная и аномальная), сигналы, связанные со средствами механического управления, и т. д. Опытному водителю уже трудно представить себя на месте новичка. Однако легко понять, что новичок перегружен большим объемом информации, отвлекающей его внимание, что он пытается тщательно соблюдать дорожные правила и во многих случаях абсолютно неспособен справиться с обилием информации. Конечно, новичок испытывает «информационную перегрузку». В процессе обучения вождению он учится отделять важную для него информацию (только такую информацию он должен анализировать) от той, которая не представляет для него интереса и которой, следовательно, он может пренебречь. Он изучает значение этой информации, учится отличать главное от второстепенного, приобретает необходимую реакцию и готовит себя к различного рода неожиданностям. Благодаря тренировке новичок перестает испытывать информационную перегрузку, сокращается время выполнения им различных действий и снижаются прилагаемые усилия, уменьшается число сделанных ошибок. Стадия становления эксперта из новичка — это процесс, благодаря которому человек овладевает знаниями о внешней среде с тем, чтобы выполнять наиболее полезные действия, необходимые для управления системой. Очевидно, что этот процесс можно ускорить, тренируя новичка, прививая ему необходимые навыки и передавая ему свои знания. Без представления о том, какие знания необходимы новичку, нельзя стать хорошим педагогом. Поэтому мы переходим к вопросам, касающимся «знания о результатах» и «знания о выполнении», исследование которых необходимо для того, чтобы понять, как следует проводить процесс обучения. Как знание о результатах, так и знание о выполнении пред-

ставляют собой форму обратной связи между человеком и окружающей его средой, его нервной системой и выполняемой им работой.

Понятие *знания о результатах* (ЗР) связано с конечными результатами деятельности человека, тогда как благодаря *знанию о выполнении* (ЗВ) мы получаем информацию о способе решения конкретной задачи. Эти два понятия характеризуют различие между умением человека и конечным результатом его труда. В большинстве работ понятия ЗВ и ЗР объединены в одно, более общее понятие знания о результатах.

## Знание о выполнении

Безусловно, «знание о выполнении» и «знание о результатах» — два неразрывно связанных между собой понятия. Занимаясь каким-либо делом впервые, нам хотелось бы узнать, насколько хорошо (или плохо) мы с ним справляемся. Мы должны получить оценку своих действий и конечного результата. Хороший теннисист или игрок в гольф знает, как следует держать ракетку или клюшку, владеет наиболее подходящими для себя приемами, позволяющими ему одерживать победы. Эти знания следует передать новичку, который после тренировки получит положительную или отрицательную оценку своей игры, узнает, правильно или неправильно он действовал, и т. д. Знание о выполнении не является достаточно формализованным, но во многих случаях может оказаться более полезным, чем знание о результатах. Так, процесс образования, казалось бы, правильнее начинать с обучения общим приемам мышления и рассуждения, а затем объяснять конкретные способы получения тех или иных результатов. Если человек умеет управлять процессом рассуждения, то он, естественно, получит и нужные результаты. Конечно, решение вопроса о том, что для нас представляет большую пользу — знание о выполнении или знание о результатах, — может зависеть от того, что в конкретном случае для нас важнее — способность к мышлению (включая общие умственные способности) или техническое умение (включая знания специальных средств и методов).

С увеличением сложности управляемой системы становится труднее овладевать знаниями о выполнении. Понятие знания о выполнении связано с понятием количества информации (в смысле теории информации), содержащегося в задании, которое должно быть выполнено. Количество информации может быть также выражено в виде энтропии поступающих, или входных, сигналов, изучаемых человеком, который производит их обработку. По мере того как человек совершенствует свое мастерство, он овладевает избирательным навыком, что позволяет ему



реагировать только на определенные сигналы вместо того, чтобы изучать все поступающие сигналы. Он отделяет важную информацию от бессодержательной. Для того чтобы отличать одну вещь от другой, нужно учиться этому, и поэтому «квалифицированный человек (эксперт) реагирует на меньшее количество информации, чем неквалифицированный (или неспециалист)... Поскольку он способен предсказывать многие события, он обрабатывает меньшее число сигналов и поэтому снижает свою информационную загрузженность» [1]. Датский физик Нильс Бор сказал: «Экспертом является тот, кто знает, какие в его области могут быть совершены грубые ошибки и как их избежать» [2].

## Знание о результатах

Знание о результатах позволяет лицу, проходящему обучение, дать оценку своим действиям. Оно служит в качестве дополнительного средства исследования, позволяющего принимать правильные решения и избегать неверных действий. Мы не будем знакомить читателя с различными теориями усовершенствования, которые можно найти в других руководствах. Достаточно отметить, что ЗР играет роль дополнительного средства исследования, и именно так и следует его рассматривать независимо от того, имеем мы дело с совершенствованием мастерства или познанием.

Для того чтобы понять значение знания о результатах, полезно представить себе аналог человеческого мозга, который можно рассматривать как канал связи, имеющий рецептор, эффектор и центральные механизмы. Оператор действует как информационный процессор. Он принимает входные сигналы, поступающие из его нервной системы (внутренней среды) и внешней среды. Результатом воздействия этих сигналов, известных под названиями «внутреннее ЗР» и «внешнее ЗР» соответственно, явятся выходные сигналы [3]. Если оператору не удастся связать входные сигналы с действием, вызывающим их появление, то они кажутся хаотичными и бессмысленными. В процессе распознавания поступающей информации важно своевременно определить ту ее часть, которая представляет для нас интерес. Для новичка энтропия входных сигналов велика из-за их кажущейся многочисленности и его неспособности классифицировать эти сигналы, исходя из их важности или вероятности появления. После нескольких этапов обратной связи новичок узнает относительную частоту поступления сигналов и начинает исследовать эти сигналы выборочно, благодаря чему их энтропия уменьшается. Число полезных сигналов уменьшается и изменяется вероятность их поступления. Появляется возможность де-

лять прогнозы. Устраняется информационная перегруженность и вызванное ею умственное напряжение, возникающее при выполнении задания или его проверке. Человек достигает такого состояния, когда может извлечь «максимум информации из минимального числа сигналов» [4]. Он становится экспертом.

## Определение квалификации эксперта

Некоторые считают, что квалификацию эксперта следует определять продолжительностью периода, в течение которого он занимался определенным родом деятельности. Так, в ряде профессий существуют строгие правила относительно срока, в течение которого начинающие работники должны выполнять различные задания. Однако вопрос о том, какой должна быть продолжительность стажировки для начинающего работника в зависимости от сложности выполняемой им работы, представляет определенную трудность и требует дополнительного исследования. Очевидно, что правила поступления на работу являются искусственным барьером, ограждающим рабочие места от тех, кто на них претендует. То, что нас интересует, — это процесс обучения, необходимый для того, чтобы из начинающего работника, или новичка, вырастить эксперта. Нам хотелось бы, чтобы наше исследование затрагивало все способы обучения и все типы экспертов.

Таким образом, экспертом является лицо, которое, ознакомившись с заданием и вопросами, касающимися этого задания, может определить относительную важность поступающих к нему сигналов и, кроме того, может разобраться в ситуации, исследуя только несколько основных переменных. Исследование в данной области должно сводиться к вопросу о вычислении энтропии наиболее важной, по мнению ЛПР, информации как части общего количества информации. Начало в этом направлении уже положено [5, 6].

Определить квалификацию эксперта можно по следующим критериям:

- 1) числу переменных, которые, по его мнению, существенны для принятия решения (эксперт использует меньше переменных, чем неэксперт);
- 2) важности этих переменных с его точки зрения, т. е. по их весовым коэффициентам;
- 3) скорости, или эффективности, идентификации экспертом важных сигналов;
- 4) точности его решений, т. е. насколько они близки к оптимальным;
- 5) достоверности его прогнозов, т. е. частоте, с которой он принимает верные решения.

С определением числа переменных, которые следует отнести к существенным, и их относительной важности имеют дело при исследовании внешних условий решений, осуществляемых ЛПР. Скорость, или эффективность, идентификации сигналов, поступающих из внешней среды, может быть выражена временем, необходимым ЛПР для определения содержания входной информации [7]. Определения и способы вычисления точности и надежности решений экспертов были приведены в предыдущей главе.

Перечисленные выше критерии следует сравнить с критериями, предложенными Уинклером (см. гл. 11), который считает, что эксперт-консультант должен: 1) придерживаться требований согласованности и последовательности; 2) давать оценки, которые соответствовали бы его суждениям; 3) давать оценки, которые согласовывались бы с реальностью [8, 9]. Более подробное изложение этих критериев содержится в следующем разделе.

В заключение нам хотелось бы упомянуть о точке зрения, сторонники которой мало доверяют эксперту. Это проистекает из предположения, согласно которому объективность познания может быть достигнута только в результате «жарких дебатов или несогласия сторон по каждому вопросу». Следует проявлять «максимум недоверия к эксперту» вместо того, чтобы полагаться на него [10]. Подобные предположения относительно роли эксперта касаются также и роли планировщика. Эти вопросы обсуждались при описании модели достижения согласия (гл. 16) и при рассмотрении «доверия» как ингредиента реализации (гл. 15).

## От принимаемых сигналов к суждениям

Лица, принимающие решения, используют соответствующие входные сигналы для того, чтобы сформулировать суждения, которые можно рассматривать как выходные последовательно-сти сигналов. Суждения должны удовлетворять следующим сформулированным выше требованиям:

1) они не должны противоречить друг другу, должны согласовываться с законами логики [11];

2) должны согласовываться с убеждениями человека. Например, приписываемые сигналам веса должны соответствовать мнению относительно их важности [11, 12];

3) сигналы должны быть агрегированы таким образом, чтобы полученные суждения соответствовали реальности [11];

4) правила агрегирования сигналов и сформулированные суждения должны соответствовать единодушному мнению лиц, принимающих решение.

Изучение вопроса о том, каким образом ЛПР используют информацию для формулировки суждений, позволяет опровергнуть или подтвердить справедливость перечисленных выше требований.

### 1. Рациональность

Большое число экспериментов подтверждает, что ЛПР не всегда поступают согласно правилам рациональности. Даже в тех случаях, когда они знают правила оптимального поведения, они отказываются выполнять их. Конечно, нередко из-за сложности ситуации нельзя определить оптимального решения. Оптимум может быть найден только в случае замкнутых систем и моделей, где все предположения и граничные условия известны и определены заранее. Установив невозможность оптимизации, мы переходим к субоптимизации.

### 2. Соответствие с убеждениями

На суждения ЛПР оказывает влияние предубежденность последних, что иногда приводит к противоречию с имеющимися у них знаниями. Так, даже в тех случаях, когда известны реальные веса сигналов, ЛПР подменяют их своими субъективными оценками. Примером такого поведения являются ситуации, когда эксперты поддерживают мнение своих коллег более горячо, чем мнение посторонних работников, игнорируют правильный ответ, поддаются влиянию «структурных характеристик» представленного им факта, изменяют способы обработки сигналов для того, чтобы уменьшить умственную нагрузку при выборе возможных вариантов решений, не обращают внимания на особые сигналы, а реагируют лишь на обычные сигналы и т. д. [12].

### 3. Соответствие с реальностью

Планировщики и эксперты, как это убедительно показывает Бир, имеют дело не с самой реальностью, а с моделями реальности. Бир описывает «гипотетический мир», который заменяет реальный мир. Мы составляем проекты для того, чтобы не связывать себя с требованиями, которые предъявляет реальная ситуация, и избежать связанных с ней ожиданий. В настоящее время только в политике существует некоторая связь между реальным миром, которым мы хотим управлять, и моделями, с помощью которых мы пытаемся осуществлять такое управление. Необходимы системы с более чувствительной обратной связью, «которые приблизили бы „гипотетический мир“ к реальности»

[13]. Эти системы включали бы информационные системы в реальном времени, которые позволили бы сократить существующий в настоящее время интервал между моментами быстро изменяющихся реальных событий и моментами нашего их восприятия с помощью модели. Когда эксперты получают информацию из моделей, их суждения и вытекающие из них ответы не соответствуют той реальной ситуации, в которой они пытаются осуществлять управление и контроль. Существует развивающаяся методология, которая, по-видимому, поможет планировщикам в этом отношении. Она соединяет человека с вычислительной машиной для того, чтобы более полно использовать их способности и возможности и преодолеть их недостатки. Человек наиболее полезен в тех случаях, когда необходимо определить, какая информация является существенной для принятия решения. Электронная вычислительная машина не обладает такой способностью. Однако она может собрать эту информацию быстрее и более последовательно, чем человек. Человек же не только непоследователен, он, кроме этого, устает, делает ошибки и ненадежен. В таких условиях ЭВМ наиболее полезна. Таким образом предлагается использовать человека для сбора информации и формулирования правил, с помощью которых из этой информации должны быть получены результаты. Вычисления могут быть возложены на ЭВМ, что позволит исключить случайные ошибки в суждениях и погрешности, возникающие из-за ненадежности человека при реализации алгоритмов. Таким образом, роль человека в процессе принятия решений заключается в следующем: а) в получении дополнительной информации, которая повысит точность прогнозов; б) в построении новых видов процедур, позволяющих объединять прогнозы наиболее оптимальным образом [14].

Авторы работы [15] утверждают, что

Человек и машина смогли бы работать более эффективно если бы человек умел сообщать ЭВМ, каким образом он желает получить решения, а затем предоставлял бы машине возможность найти для него эти решения [15].

#### 4. Суждения и единодушное мнение

Эксперты должны достичь согласия

- а) об относительной важности сигналов;
- б) о знаках переменных (соответствующих сигналам), входящих в комбинацию или функцию;
- в) о весовых коэффициентах переменных (соответствующих сигналам), входящих в комбинацию.

Мы не будем останавливаться на описании способов и моделей достижения согласия экспертами, а также методов определения степени согласия. Этот материал был изложен в преды-

душей главе. Для рассматриваемой нами задачи достаточно напомнить о трудностях, возникающих при поиске правил комбинации, позволяющих объединять сигналы и их веса. Такое объединение необходимо для описания модели построения суждений, которые соответствуют текущим ответам. Мы остановимся также на некоторых проблемах, связанных с проверкой таких правил комбинации и установлением степени соответствия между синтезированными и исходными суждениями. Кроме того, будет показано, с какими еще трудностями мы сталкиваемся, когда пытаемся «разумно объединить информацию» для того, чтобы процесс выявления мнений, о котором мы пока знаем относительно мало, не стал бессмысленным.

## Объединение информации и правила композиции

Известно немало подходов к решению проблемы, как объединить информацию и сигналы, чтобы принять правильное решение. Исследование проводилось по двум основным направлениям. Сторонники первого направления уделяют основное внимание «внешним факторам, определяющим суждения» и пытаются точно представить «структуру переменных, описывающих ситуацию и входящих в решение». При таком исследовании основная роль отводится изучению статистических свойств внешней среды, из которой поступает информация, или сигналы [16]. Сторонники второго направления исследования сосредоточивают свое внимание на изучении статистических свойств процедур формирования ответов человеком и построении процесса интеграции суждений, с помощью которого последние объединяются в решающее правило. Именно этот последний подход наиболее тесно связан с интересующими нас проблемами, связанными с суждениями эксперта, на нем мы и остановимся.

Существует большое количество разнообразных моделей, описывающих стратегии формирования суждений экспертов. Читатель, наверное, уже заметил, что мы пользуемся эквивалентными понятиями — ЛПР, судья, эксперт и планировщик; и это не приводит ни к каким недоразумениям. Эксперты являются ответственными за выбор основного направления принятия решений. Вполне естественно, что мы сами должны заниматься процессом принятия решений, в частности, мы должны найти правила, позволяющие предсказывать решения экспертов, или судей, и сравнивать ответы последних с ожидаемыми решениями. Слово «судья» понимается в том же широком смысле, как и «ЛПР».

При изучении этих комбинационных правил полезно использовать парадигму исследования подобную той, которая изображена на рис. 17.1 [16]. Важным моментом здесь является

определение (на основе получаемой информации) различий между полученным ответом эксперта (ПОЭ), его запрогнозированным фактическим ответом (ЗФО) и запрогнозированным наилучшим, или оптимальным, ответом (ЗОО). Исследователю необходимо уметь выявлять различия статистического характера между

- 1) ПОЭ и ЗФО, т. е. различие между полученным ответом эксперта и его запрогнозированным фактическим ответом;
- 2) ПОЭ и ЗОО, т. е. различие между полученным ответом эксперта и запрогнозированным оптимальным ответом.

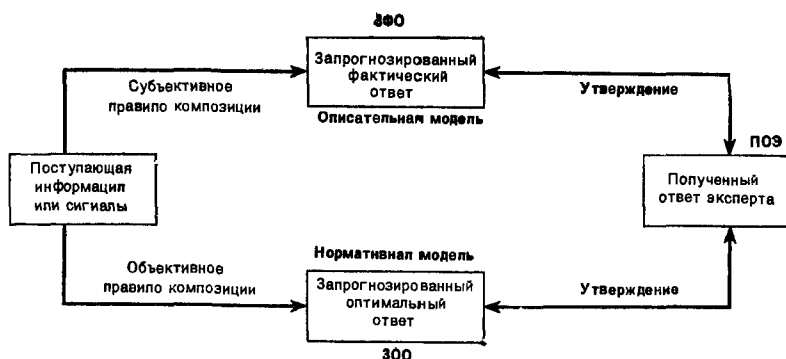


Рис. 17.1. Парадигма исследования, используемая для сравнения полученных и запрогнозированных ответов [16]. (С разрешения авторов и Academic Press, Inc.)

Слович и Лихтенштейн называют ЗФО «ответом, полученным на основе субъективного правила композиции», а ЗОО — «ответом, который мог быть получен на основе объективного правила композиции». Мы назвали эти ответы «описательным» и «нормативным» соответственно.

Простейшей моделью является линейная модель, в которой прогнозы экспертов представляются линейной комбинацией всех имеющихся решений. На основании множества проверок этой парадигмы было установлено, что в большинстве случаев имеет место очень точная аппроксимация фактических ответов судей. Изменять эту модель введением нелинейных коэффициентов не имеет смысла, поскольку в результате такого усложнения происходит лишь незначительное улучшение прогнозов. В действительности хорошая аппроксимация достигается в том случае, когда судьи сообщают знак, с которым их решение входит в комбинацию. Даже «взвешивание переменных не позволяет достаточно эффективно использовать различия между ними». Как мы отмечали выше, при обращении к моделям, описывающим

действия человека, только ЛПР, знающее, на что следует обратить внимание, понимает, какие переменные следует использовать при прогнозировании». Интеграцию информации лучше всего производить автоматически, например с помощью программы вычисления регрессии, даже если весовые коэффициенты (но не их знаки) выбраны произвольно» [17].

Создание Боуменом «теории управляющих коэффициентов» представляет собой попытку использовать линейные регрессионные модели, построенные с учетом прошлого поведения руководителя, как основы для прогноза его будущего поведения. Эта теория была сравнительно недавно подвергнута проверке, причем наряду со статистическими методами использовалось понятие «предсказывающего тестирования» [18]. Другие линейные функции были применены в моделях полезности, описанных в гл. 11. Предпринимались также попытки построить нелинейные модели, описывающие суждения экспертов. В одной из таких нелинейных моделей, названной «конфигурационной», «результаты исследования экспертами поступающей информации и оценка ими различных факторов изменяются в зависимости от уже имеющихся в их распоряжении сведений... Суждения в этом случае связаны с совокупностью последовательных и взаимосвязанных правил» [19].

Известно несколько методов, позволяющих сделать линейную модель интеграции чувствительной к изменениям исходной информации. В одном из таких методов для описания сложных процессов построения суждений используется дисперсионный анализ, как это можно видеть из примера с моделью, позволяющей описывать те стороны процесса построения суждений, которые характеризуются линейной и нелинейной зависимостями и конфигурацией, а также определять относительную важность сигналов [19]. Пример использования такой модели приводится в работе [20], где описаны лабораторные эксперименты, в которых изучались те воздействия на субъектов, которые ограничивают способность последних воспринимать информацию. Цель таких экспериментов заключается в том, чтобы уменьшить неопределенность при выборе возможных решений.

Когда используются вероятностные оценки, подход Байеса позволяет построить как описательную, так и прогнозирующую модель, отражающую поведение экспертов. Модель Байеса позволяет получить улучшенную оценку в виде весовой комбинации прежних и новых результатов. На основании новых фактов изменяются субъективные вероятности постоянных гипотез. Читатель может обратиться к работе [16], в которой содержится наиболее подробное описание подхода Байеса, перечисляются его недостатки, проводится его сравнение с регрессионными моделями построения суждений и затрагиваются другие



связанные с этим подходом вопросы. Уинклер предложил при решении задачи объединения субъективных вероятностных оценок, которая возникает при построении функции, представляющей степень согласия, воспользоваться методом взвешенного среднего значения, в котором весовые коэффициенты выбираются следующим образом.

1. В том случае, когда нет оснований полагать, что судьи, или эксперты, сильно отличаются по квалификации, следует использовать равные весовые коэффициенты в комбинации оценок.

2. Если имеются основания считать, что одни эксперты лучше других, то следует использовать весовые коэффициенты, пропорциональные рангам экспертов.

3. В тех случаях, когда суждение эксперта изменяется при переходе от одного вопроса к другому, следует соответственно изменять и весовые коэффициенты.

4. Необходимо использовать весовые коэффициенты на основе сравнения распределений, для которых предварительно были получены оценки, с фактическими результатами. В этом случае Уинклер предлагает воспользоваться «правилами подсчета» [21].

Некоторые из этих правил можно рассматривать в связи с аддитивной и мультипликативной функциями полезности, которые были практически использованы при решении задач, связанных с выбором многомерных решений. Примеры таких функций полезности приводились в гл. 11. Вероятностное кодирование, т. е. процесс количественной оценки суждений в вероятностном случае, по-видимому, должно дополнить наши знания в области вероятностных оценок [22].

Перейдем теперь к рассмотрению эпистемологических моделей, или системы познания экспертов.

## **Эпистемологические модели. Система познания эксперта**

Как было отмечено в гл. 4, система познания эксперта связана с той эпистемологией, которую он использует в поисках истины. Под словом «эпистемология» понимается теория познания, раскрывающая пути, способы достижения и обоснования истинного знания. Благодаря Чёрчмену возрос интерес к той части философии, которая затрагивает проблемы человеческого познания. Человека с давних времен волновали вопросы о том, что мы знаем, как мы узнаем то, что мы знаем, и как мы доказываем правильность наших решений. Эти и подобные во-

просы вновь привлекли к себе внимание по следующим причинам:

1. Истинные эксперты и те, кто объявили себя экспертами, стремятся к тому, чтобы их звание было дано им на законном основании.

2. Новичку необходимо знать, как можно стать экспертом. Проблемы, касающиеся знания о выполнении и знания о результатах, мы обсуждали в начале настоящей главы; изложенный материал поможет нам ответить на некоторые из поставленных здесь вопросов.

3. Многие из так называемых экспертов, которых мы избираем или назначаем на высокую должность и которые руководят от нашего имени, каждый день решают сложные проблемы. Воздерживаясь от чрезмерно критического разбора их деятельности, мы отметим, что они далеко не всегда пользуются широкой поддержкой. Наша книга отчасти адресуется им. Поэтому мы и затрагиваем здесь (хотя и поверхностно) вопросы, связанные с системами познания.

4. Следующая причина, по которой мы обращаемся к данной теме, вытекает из необходимости осветить «философские проблемы управления». Эта область методологии рассматривается как абстрактная дисциплина, или метанаука, изучающая методологические и эпистемологические вопросы, связанные с наукой об управлении и управлением наукой. По мнению Чёрчмена, «унифицированная наука об управлении затрагивает вопросы об управлении наукой. Она является наукой о науке, самоотражающей наукой» [23]. «Развитие науки об управлении представляет собой попытку применить научные методы к решению проблемы управления. В основе управления наукой лежит изучение систем познания» [24].

Система познания — это процесс, направленный на овладение знаниями. Этот процесс является целенаправленным. Обычно цель руководит при построении системы и обосновании, необходимом для получения такого решения проблемы, которое мы называем «истинным» и которое является оптимальным с точки зрения выбранного критерия. Ульрих [25] свел понятие системы познания к понятию процессов, ориентированных на решение проблемы (об этом шла речь в гл. 4 при обсуждении процесса принятия решения и системной парадигмы).

Сколько было известных философов, изучавших проблемы познания и мышления, столько существует и систем познания. Мы ограничимся рассмотрением пяти эпистемологических систем, описанных Чёрчменом: Лейбница, Локка, Кантора, Гегеля и Зингера.

## Система познания Лейбница

Согласно Лейбницу, «истина — понятие аналитическое, т. е. истинное содержание системы неразрывно связано с ее формальным содержанием» [26]. Системы могут быть представлены формальными моделями, использование которых основано на возможности давать с их помощью теоретические объяснения широкому кругу явлений. В своем описании модели содержат аксиоматические доказательства получаемых с их помощью утверждений. Доказательство истинности суждений проводится на основании внутренних свойств модели, без привлечения внешних, или эмпирических, наблюдений. Точная детализация, внутренняя непротиворечивость и полнота дают обоснование использованию таких систем, которые являются «прототипом формальных, символических, систем» [27]. Система познания Лейбница лучше всего подходит для хорошо структурированных задач, которые могут быть смоделированы и аналитически описаны и решены. Математические законы и их непосредственные приложения, такие, как методы исследования операций, обычно приводят в качестве примера системы познания Лейбница.

## Система познания Локка

Система познания Локка представляет собой методы исследования, основанные на взаимосогласии и непосредственном наблюдении и эксперименте. Таким образом, в отличие от системы познания Лейбница, где доказательства строятся на основе внутренних правил рассматриваемой модели, в системе познания Локка доказательства не ограничиваются лишь формальным описанием. Хорошим примером системы познания Локка является статистика, поскольку на основании распределения частот может быть установлена некоторая функциональная зависимость между переменными. Кроме того, модель, обосновывающая данную процедуру, не связана с эмпирическими фактами и не требует априорных предположений какой-либо теории. Дельфийский метод, разработка которого началась в то время, когда у экспертов появился интерес к исследованию «мягких систем», также представляет собой пример использования системы познания Локка. Для теории Локка характерны также исследования работы бюрократических систем. С помощью таких исследований осуществляется поиск согласованных, или осредненных, решений. Длительное время в этих исследованиях отсутствовали теоретические обоснования. Решения принимались на том основании, что они подходили для использования на практике. Таким образом, практическая целесообразность преобладала над строгостью.

## Система познания Канта

Система познания Канта объединяет формальное описание модели с эмпирическим обоснованием доказательства. В некотором смысле она объединяет подходы Лейбница и Локка. Первый из этих подходов составляет ее теоретическую основу, в то время как обработка входных данных производится с помощью положений второго подхода. «Система познания Канта не ограничивается только теоретическим или только эмпирическим исследованием, а включает в себя оба эти компонента... Теория и практика неотделимы друг от друга» [28]. В теории Канта подчеркивается необходимость поиска всех возможных вариантов решения проблемы. В этом отношении она хорошо подходит для неформализованных задач, при решении которых нельзя достичь полного единодушия (что предполагается в системе Локка) и к которым неприменим формальный подход (характерный для системы Лейбница). Дельфийские методы, основанные на системе познания Канта, позволяют обрабатывать более разнообразную информацию, чем дельфийские методы, основанные на системе познания Локка, и использовались при прогнозировании, касающемся технологии, и других видах долгосрочного планирования, где ответы экспертов не являются строго формализованными.

## Система познания Гегеля

Система познания Гегеля является основой для изучения общественных процессов и заключается в нахождении истины путем противопоставления тезиса и антитезиса, в результате чего можно прийти к синтезу. Истина постигается на основе конфликта и столкновения противоположных точек зрения (несмотря на одни и те же данные, которыми располагают эксперты, их мнения могут существенно различаться). Как было показано в приложении к гл. 4 при обращении к «программе бедности», эксперты, пропуская данные сквозь призму своего восприятия, приходят к различным результатам. Их точки зрения зависят от принятых ими допущений, системы ценностей и стиля познания. Доказательства положений системы познания Гегеля основаны скорее на противоречии, чем на взаимном согласии. Утверждается, что синтез, полученный на основе теории Гегеля, является «более правильным решением», чем те результаты, которые были бы достигнуты с помощью строгой системы Локка. В работе [29] приведен пример использования подхода Гегеля при составлении стратегических планов управления.

## Система познания Зингера

Интерес к философии Зингера возродился благодаря Чёрчмену, который показал ее пользу для современных систем познания [30]. Зингер добавил несколько новых элементов к системам познания, которые обсуждались выше. Согласно теории Зингера, законы и суждения нельзя рассматривать абсолютно точными и неизменными. Они являются приближенными. Цель науки, согласно Зингеру, заключается не в получении абсолютных законов и однозначных ответов на вопросы о происходящих явлениях, а в постоянном уточнении ее результатов и бесконечном приближении их к абсолютной истине. Единодушие не одобряется и рассматривается как сигнал, призывающий к дальнейшему уточнению результатов, необходимому для того, чтобы добиться разногласий. Этот принцип лежит в основе современной теории измерений, или метрологии. Утверждение, с которым мы все согласны, о том, что высота стола равна 90 см, является ненаучным. Это следует не только из того, что наш инструмент измерения недостаточно точен для определения различий между наблюдениями. Такое утверждение противоречит также статистическим данным. Необходимо произвести дальнейшую обработку результатов, которая позволила бы осуществить выбор между 89,5; 89,75; 90,25 и 90,5 см. Такое уточнение является основным элементом в системе познания Зингера.

Имеют большое значение и два других принципа: принцип наглядности, используемый при установлении истины, и принцип, затрагивающий этические вопросы при оправдании действий. Чёрчмен обратился к теории познания Зингера, потому что считал ее положения основой для современной теории познания и исследования. Действительно, многие принципы изложенные в нашей книге, например те, которые связаны с этической стороной систем, взяты из работ Зингера.

Изучение систем познания на этом заканчиваться не должно. Всегда интересно обратиться к трудам философов, чтобы узнать, сможем ли мы модифицировать наши методы проектирования и планирования на основе изучаемых принципов, для чего необходимо исследовать процессы рассуждения, с помощью которых решаются поставленные перед нами задачи, и доказать истинность и обоснованность наших ответов. Для приобретения новых знаний требуется «совершенная» система познания, которая все еще недоступна или пока не известна человеку.

## Точка зрения эксперта относительно планирования и свободы действий

Читатель может обратиться к гл. 19, где изучается кажущаяся дилемма, существующая между планированием и свободой действий. После обсуждения ряда вопросов мы приходим к заключению о том, что в действительности такого противоречия нет. Применение цикла очевидная реальность — миропонимание — система познания — истина (гл. 4) показывает, что определение свободы в планировании непосредственно зависит от представления экспертов-планировщиков о действительности и их предположений относительно человека и условий существования системы. Мы предлагаем читателю ознакомиться с выводами, полученными в гл. 19 нашей книги, или с первоисточником [31]. Этот цикл применялся к различным задачам, и вывод был всегда неизменным: «абсолютной истины» в планировании не существует. Истина является функцией, зависящей от того, к каким результатам приходят эксперты, рассматривая имеющиеся в их распоряжении сведения сквозь призму своего миропонимания. Поэтому кажется очевидным наше желание воздействовать на формирование миропонимания экспертов для того, чтобы результаты, полученные на основе их планирования, были бы совместимыми с нашими предположениями и оценками.

## II. Проблема диагностирования

*Диагностирование*, или поиск причин нарушений и отклонений в работе системы, обычно проводится экспертами. Те лица, которым поручено поставить диагноз, должны обладать необходимыми знаниями и уметь проводить экспертизы, т. е. быть «специалистами» в данной области. Экспертиза и диагноз неразрывно связаны между собой, поэтому сейчас необходимо перейти к вопросу о диагностировании.

Проблема диагностирования заключается в поиске наиболее эффективного способа выявления причин нарушения в работе системы с тем, чтобы уменьшить затраты, необходимые для исследования, и затраты, связанные с исправлением неверного диагноза. Исследования, имеющие целью обнаружить причины нарушения в работе системы, являются характерными для промышленного производства. Они проводятся, например, на тех предприятиях, где проверка продукции производится до ее отгрузки, с тем чтобы гарантировать хорошее качество товаров, а также, отчасти выполняя работу приемочной комиссии, найти недостатки в проекте и дефекты в изделиях. В медицине

необходимость решения проблемы диагностирования не вызывает сомнения в тех случаях, когда врач пытается по симптомам определить заболевание и назначить курс лечения. Решение вопроса о том, способен ли будущий студент успешно закончить высшее учебное заведение, отчасти заключается в том, чтобы определить, какие качества человека являются залогом успеха и как они должны в нем сочетаться. Действительно, данная проблема представляет собой диагностирование факторов, способствующих успеху (или приводящих к неудаче) будущих студентов. Она не отличается от проблем, стоящих перед кандидатом на политический пост, чья предвыборная кампания не пользуется успехом у избирателей, или бизнесменом, сбыт товаров которого сокращается из-за конкуренции. В каждом из этих примеров необходимо установить взаимосвязь между критериями и решениями и определить факторы, которые воздействуют на характер этой взаимосвязи. Читатель не должен думать, что мы отказываемся от холистской точки зрения на системы, которые находятся в центре нашего внимания. Существование сложного явления обусловлено рядом действий, для которых редко можно установить одну причину. В большинстве случаев взаимосвязь между элементами и компонентами системы нелинейна и поэтому не может быть описана линейными функциями. Аппроксимация нелинейных систем линейными является типичной ошибкой проектировщиков систем. Однако на практике, прежде чем установить правила, касающиеся взаимосвязи между факторами, влияющими на искомое решение, важно вначале определить эти факторы.

Как было показано в гл. 11, диагностическая модель является одной из шести видов моделей принятия решений, которые могут быть использованы экспертами; напомним их читателю: модели принятия компромиссных решений; одноцелевые и многоцелевые и многомерные модели; оптимизационные модели; модели построения суждений, или оценочные модели; эпистемологические, или познавательные, модели; диагностические модели.

Предметом обсуждения настоящей главы являются три последние модели. Перейдем теперь к рассмотрению диагностических моделей. Эти модели можно разделить на два вида: 1) с точно определенными классификационными границами; 2) с размытыми переходными областями.

Рис. 17.2 показывает, как можно построить концептуальную основу диагностики с помощью следующих этапов: а) таксономии; б) классификации; в) диагностирования и связанных с ним вопросов, касающихся обнаружения неисправностей (отклонений) и оценивания; г) исправления и д) прогнозирования

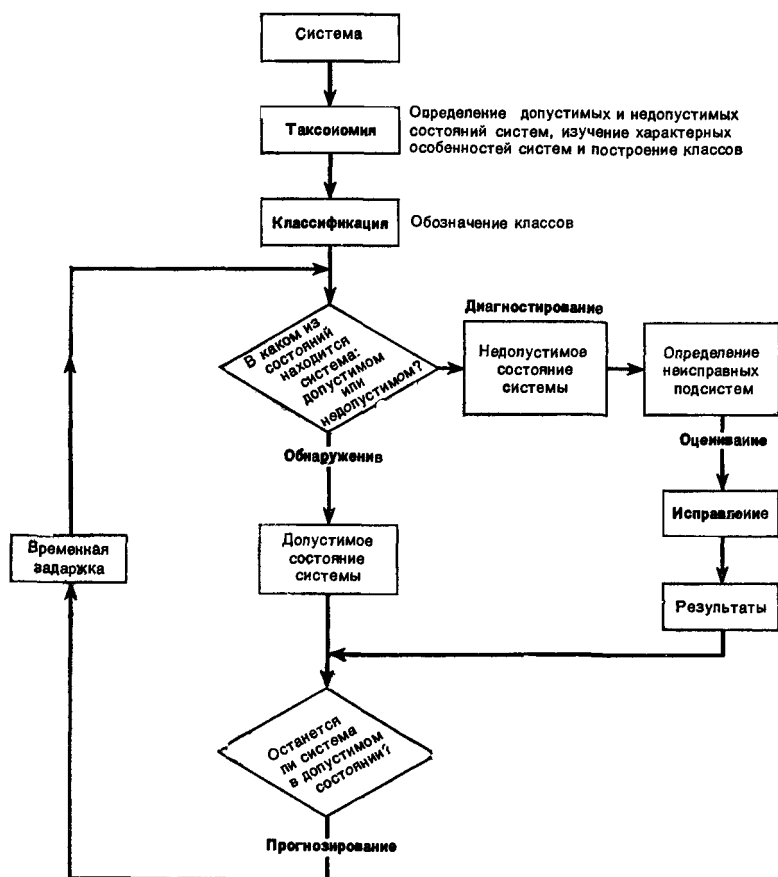


Рис. 17.2. Стадии решения проблемы диагностирования [32]. (Используется с разрешения.)

[32]. *Таксономия* имеет отношение к определению категорий или классов, а *классификация* — к обозначению этих классов. Когда мы ставим диагноз (*диагностирование*), мы определяем, в каком из состояний находится система: допустимом или недопустимом (*обнаружение*), и устанавливаем симптомы отклонения и степень неупорядоченности (*оценивание*) для того, чтобы рекомендовать способ *исправления* системы. Результаты исправления вновь используются на стадии диагностирования для того, чтобы определить точность выбранного способа исправления и начать новое исследование вопроса о состоянии системы. Иногда на основании результатов исправления системы ставится



новый диагноз. Таким образом, нетрудно заметить, что понятия диагностирования и исправления систем взаимосвязаны. На последнем шаге, названном *прогнозированием*, делаются предсказания о том, перейдет ли система после ее корректировки в допустимое состояние и как долго она будет в нем пребывать.

## Таксономия

Таксономия — это очень старая дисциплина, которую обычно связывают с систематизацией классов в зоологии, ботанике и палеонтологии. Однако область исследований в таксономии была расширена с тем, чтобы использовать эту науку для классификации и систематики других совокупностей предметов или явлений. С появлением ЭВМ возрос интерес к численной таксономии, которая ближе к математике, чем к наукам о живой природе. Идеи о том, что переходные области классов являются размытыми и что предметы в классе принадлежат размытым множествам, вызвали появление новой теории.

Если раньше полагали, что классы являются дихотомическими, с резко выраженными границами, то теперь последние рассматриваются как нечеткие и размытые. Сейчас мы переходим к традиционной таксономии, а обсуждение вопросов, связанных с использованием размытых множеств, пока отложим.

## Традиционная таксономия, классификация и систематика

Проблема диагностирования возникает при решении широкого круга вопросов, связанных с таксономией, классификацией, систематикой и терминологией. Для того чтобы мы могли на основании симптомов найти истинные причины неисправности системы или определить источник действия на основании характерных особенностей результатов этого действия, мы должны иметь классификационную систему — естественную или искусственно построенную, с помощью которой можно было бы использовать эти характерные особенности как ключ к пониманию причин их происхождения.

При работе над научной проблемой основные усилия человек направляет на то, чтобы найти логичный, рациональный подход к ее решению. Сталкиваясь с новым вопросом или новой ситуацией, он пытается сопоставить их с аналогичными задачами, решение которых было найдено прежде. Таким образом, *сходство*, или *подобие*, позволяет нам «увязать» решение новой проблемы с теми знаниями, которыми мы уже овладели раньше.

Такой процесс называется построением функции обработки информации, с помощью которой и прежняя, и новая информация интегрируется в нашей памяти. Для осознания новой идеи или факта необходимо сопоставить ее с той основой, которая уже имеется благодаря полученным знаниям. От того, как мы классифицируем эту новую идею (или факт), будет зависеть наша способность понять, объяснить и в будущем восстановить ее в нашей памяти. Классификация людей не отличается от классификации фактов. Хотелось бы понять образ человеческого мышления, чтобы уметь управлять последним. Производя выбор среди кандидатов на какую-либо должность или вступая в брак, мы, во-первых, определяем подходящие нам характеристики человека, на основе которых могут быть построены классы, и, во-вторых, ищем обладающих этими качествами людей для того, чтобы приписать последних к различным классам. В работах [33—35] *таксономия* определяется как наука, цель которой — расположить в естественную систему «формы жизни» и «виды организмов» в соответствии с их характеристиками и свойствами. Таксономия также может быть использована для построения упорядоченных систем в областях, отличных от растительного или животного мира. Под понятием *классификация* обычно имеют в виду фактическое упорядочение. Термин *систематика* используется в таксономии и теории классификации. Все три понятия — таксономия, классификация и систематика — мы будем рассматривать как синонимы. Что касается понятия *терминологии*, то оно связано с обозначением различных классов, вводимых после классификации. Читатель без труда может вспомнить сделанное нами в гл. 8 утверждение о том, что понятие классификации затрагивает также и вопрос об обозначении предметов или явлений именами или метками и что при введении этих обозначений мы используем самую слабую шкалу измерений — шкалу наименований (см. также изложенный ниже материал, касающийся измерений). Решение задачи о классификации должно предшествовать введению обозначений, т. е. классификация включает в себя определение иерархической системы, в которой элементы, или компоненты, нескольких подсистем, объединяясь, образуют более сложную систему. Согласно принципам таксономии «каждый класс содержит в себе один или несколько классов более низкой категории» [36]. В гл. 3 и 14 мы показали что между иерархической структурой и иерархическим расположением существует различие. Аналогично можно указать различие между естественной и искусственно построенной классификационными системами. «Естественной» мы называем такую систему, в которой отдельные классы распознаются по естественным признакам или свойствам, в противоположность «искусственной» системе, в которой распознавание

производится на основании придуманных, или искусственных, признаков и свойств, приписанных человеком каждому классу. Так, живые организмы больше подходят для естественной классификации, чем неживые объекты. Между представителями растительного и животного мира существует естественная взаимосвязь. В мире машин, механизмов и других сделанных человеком предметов такая взаимосвязь является лишь результатом произвольно выбранной классификации. Например, запасные части на складе мы сможем классифицировать только на основании их размера, формы или номера. Безусловно, что каждый из этих признаков искусственно создан человеком.

### Основные типы таксономии

По мнению Кроуэна, существует три основных типа таксономии:

1. *Систематика Аристотеля*, на основе которой «естественную систему можно определить как такую систему, в которой элементы могут быть размещены по группам с учетом относительно небольшого числа их характерных признаков, соответствующих понятию сущности у Аристотеля. Элементы заданной группы схожи не только по тем характерным признакам, наличие которых необходимо для того, чтобы отнести эти элементы к данной группе, но и по другим характеристикам» [37].

2. *Филогенетическая система*, в которой «различные классы определяются по числу лет или поколений, отделяющих их от времени существования общих наследственных родов... В этом случае последовательные деления в классификационной иерархии будут соответствовать последовательным разветвлениям в родословном дереве. По словам Дарвина, «...наша классификация, поскольку она может быть проведена таким образом, станет нашей родословной» [37]. Эти группы отражают результаты эволюции.

3. *В численной таксономии* (называемой статистической) «организмы группируются в соответствии с их общими признаками различия и сходства. При этом в расчет принимаются все характерные признаки, по которым организмы могут различаться» [38]. Позднее мы более подробно разберем этот вопрос.

### Основные моменты классификации

Интересно отметить, что «классификацию можно было рассматривать как третью ступень в триаде Гегеля, на которой происходит синтез двух противоположностей — *сходства и различия*» [39]. Иными словами, классификация возможна только тогда, когда различий между предметами достаточно для того,

чтобы распределить их по разным классам, но в то же время между ними достаточно сходства для того, чтобы считать их элементами определенного класса. Здания отличаются от сборных домов способом их построения, что может служить характеристикой различия между классами жилых домов. Однако здания можно объединить в соответствии с их расположением, являющимся признаком сходства. На основании этого признака здания могут быть объединены в классы. Утверждение о том, что сходство является более основополагающим понятием для организмов, чем различие, не представляется сколько-нибудь обоснованным. Как было отмечено выше, для классификации необходимы оба эти понятия.

Первым требованием при построении любой классификационной системы является установление ряда критериев, на основании которых можно определить факт различия или сходства между элементами. Например, сходство или различие, или и то и другое вместе, между биологическими видами может быть установлено на основании одного или нескольких критериев, предложенных Кроузоном [40]: 1) музейные критерии; 2) экологические критерии; 3) физиологические критерии; 4) генетические критерии; 5) палеонтологические критерии. Очевидно, что найдутся знатоки и критики систематики, основанной на любом из этих критериев или их комбинации. Следует понимать, что классификация никогда не бывает точной, строгой или абсолютной и что каждый эксперт выдвинет свои собственные критерии в качестве «наилучших».

### Численная таксономия

В численной таксономии были предложены способы классификации, основанные на «полном подобии объектов, которые должны быть классифицированы» и «на использовании всех имеющихся в нашем распоряжении характеристик без введения каких-либо весовых коэффициентов» [41]. Сторонники традиционной таксономии обычно предпочитают пользоваться классификацией, основанной на одном или небольшом числе характерных признаков, которым могут быть приписаны весовые коэффициенты, соответствующие их предполагаемой важности. Что касается численной таксономии, то распределение по группам или классам «осуществляется, исходя не из единственного признака, а из совокупности ряда признаков», и в частности на основании сравнительного подобия. Сравнение начинается с определения «единичных характеристик», «которые нельзя разделить на независимые характеристики». Затем «операционные таксономические единицы» (ОТЕ) (такие, как элементы, события, люди и предметы, которые должны быть классифицированы)

объединяются в группы с учетом сходства и различия их свойств. Можно представить себе, что двум предметам соответствует одна и та же точка или две различные точки пространства, где каждая координата представляет собой величину (значимость) отдельной характеристики сравниваемых предметов. Можно вычислить степень сходства либо различия между объектами и соответствующую величину вписать в матрицу, элементы которой означают «расстояние» между этими объектами [41]. Полученная матрица аналогична той, которая использовалась для вычисления коэффициентов парного сравнения. Исключение составляет лишь то, что «расстояние» вводится с помощью произвольной метрики. Два предмета с одинаковыми характеристиками окажутся наложенными друг на друга на двухкоординатной плоскости, поскольку значения соответствующих переменных будут одними и теми же. Можно представить себе процесс размещения ОТЕ в пространстве размерности три и более. Многомерное пространство признаков, называемое «гиперпространством», будет обладать большим числом координат и описывать большое число свойств, которые потребуются изучать или сравнивать. Величина относительного сходства или различия ОТЕ будет определяться расстоянием между ними в гиперпространстве [41]. Процедура распределения элементов по классам может быть выполнена математически, аналогично тому как при вычислении коэффициентов предпочтения в соответствии с оценкой возможных решений экспертами [42, 43], а также потребителями [44, 45] использовалось многомерное взвешивание. Очень важным является тот факт, что процесс определения свойств отдельных предметов, которые должны быть классифицированы, может быть запрограммирован и реализован на вычислительной машине. Стремительное развитие численной таксономии происходит благодаря возможности автоматической идентификации и классификации, что позволило таксономии выйти за пределы области изучения породивших ее наук о живой природе, таких, как зоология, ботаника или биология. Численная таксономия открыла путь для классификации широкого круга явлений. Не вызывает сомнения, что она поможет пролить свет на неизвестные еще изоморфизмы между классами познаваемых объектов. У численной таксономии имеются противники [46]. Например, дискутируются вопросы по поводу содержательного смысла понятия «единичной характеристики» и относительно неоднозначности «статистических» классификаций, которые никак не связаны с генезисом различаемых классов [46].

Нет ничего удивительного в том, что ученый, изучающий науки о живой природе, с подозрением относится к методу, в котором пренебрегают традиционными и общепринятыми основ-

ными положениями систематики, где таксономия рассматривается с точки зрения эволюции рода.

Математическую систематику, как иногда называют численную таксономию, благодаря самой сущности ее методологии можно использовать для классификации любой совокупности объектов независимо от их происхождения и свойств. Таким образом, математическая систематика раздвигает пределы области изучения таксономии, которая ограничивалась науками о живой природе, и связывает таксономию с метрологией — наукой об измерении, — где отводит ей важную роль.

### Таксономия и классификация как форма измерения

В гл. 8 измерение определялось как «способ описания свойств с помощью величин и чисел» [47]. Полагая, что существует четыре шкалы измерений, свойству объекта может быть дана количественная оценка с использованием либо всех этих шкал, либо некоторых из них в зависимости от следующих условий: а) является ли это свойство аддитивным, транзитивным или симметричным б) допускает ли оно выполнение над ним некоторых операций, таких, как приравнивание рангов, интервалов или отношений; в) допустимо ли преобразование, которое может быть выполнено над функциями, представляющими результаты измерений, без изменения значений этих функций [48]. Хотя считается, что шкала наименований является шкалой самого низкого уровня (необходимо лишь присвоить числа рассматриваемым предметам для их распознавания), ее применение эквивалентно введению обозначений для состояний систем при условии, что были выполнены процедуры упорядочения и классификации. Таким образом, мы наблюдаем связь между таксономией и измерением. Тот факт, что таксономия, в частности численная таксономия, стала неразрывно связанной с измерением, открывает широкие возможности для развития метрологии [48].

В заключение перечислим другие статистические подходы к классификации. Для классификации и сравнения сигналов, предметов и событий могут быть использованы следующие виды анализа: факторный, дисперсионный, групповой, дискриминантный, подобия и другие.

### Традиционный подход к проблеме диагностирования

Ледли и Ластед, по-видимому, одни из первых предложили теоретическую модель диагностирования, которая по своему характеру является алгоритмической. По их мнению, неотъемлемой

Таблица 17.1

## Каноническая форма таблицы комплексов симптомов и причин

| Номер столбца               | Комплексы симптомов $s^i$ |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|-----------------------------|---------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                             | 1                         | 2       | 3       | 4       | 5       | 6       | 7       | 8       | 9       | 10      | 11      | 12      | 13      | 14      | 15      | 16      |
| Верхний индекс $i$          | 0                         | 1       | 2       | 3       | 0       | 1       | 2       | 3       | 0       | 1       | 2       | 3       | 0       | 1       | 2       | 3       |
| $S(1)$                      | 0                         | 1       | 0       | 1       | 0       | 1       | 0       | 1       | 0       | 1       | 0       | 1       | 0       | 1       | 0       | 1       |
| $S(2)$                      | 0                         | 0       | 1       | 1       | 0       | 0       | 1       | 1       | 0       | 0       | 1       | 1       | 0       | 0       | 1       | 1       |
| $D(1)$                      | 0                         | 0       | 0       | 0       | 1       | 1       | 1       | 1       | 0       | 0       | 0       | 0       | 1       | 1       | 1       | 1       |
| $D(2)$                      | 0                         | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 1       | 1       | 1       | 1       | 1       | 1       | 1       | 1       |
| Комплексы причин $d_j$      | $d_0$                     |         |         |         | $d_1$   |         |         |         | $d_2$   |         |         |         | $d_3$   |         |         |         |
| Комплекс симптомов и причин | $C_0^0$                   | $C_0^1$ | $C_0^2$ | $C_0^3$ | $C_1^0$ | $C_1^1$ | $C_1^2$ | $C_1^3$ | $C_2^0$ | $C_2^1$ | $C_2^2$ | $C_2^3$ | $C_3^0$ | $C_3^1$ | $C_3^2$ | $C_3^3$ |

Все возможные комбинации двух симптомов  $S(1)$  и  $S(2)$  образуют множество, состоящее из четырех возможных комплексов симптомов  $s^i$  (где  $i=0, 1, 2, 3$ ), представленное во второй строке таблицы. Все возможные комбинации двух причин  $D(1)$  и  $D(2)$  также образуют четыре комплекса причин  $d_j$  (где  $j=0, 1, 2, 3$ ), как показано в нижней части таблицы. В совокупности эти четыре комплекса симптомов и четыре комплекса причин образуют 16 комплексов симптомов и причин  $C_i^j$ , которые записаны в последней строке таблицы с помощью нумерации каждого комплекса симптомов, производимой для каждого фиксированного комплекса причин слева направо. В дальнейшем следует помнить, что прописными буквами  $S$  и  $D$  обозначены отдельные симптомы и причины, а строчными буквами  $s$  и  $d$  обозначены комплексы, или комбинации (существующих или несуществующих), отдельных симптомов и причин. Заимствовано из работы Hare V. C., Jr., Systems Analysis: A Diagnostic Approach, ©1967, Harcourt Brace Jovanovich, Inc., p. 335 (Используется с разрешения).

Таблица 17.2

## Усеченный базис комплексов симптомов и причин

| Номер столбца                         | 1       | 2       | 3       | 4       | 5       | 6       | 7     |
|---------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|
| Комплекс симптомов                    | $s^1$   | $s^2$   | $s^3$   | $s^2$   | $s^3$   | $s^2$   | $s^3$ |
| (Отдельные симптомы) $S(1)$           | 1       | 0       | 1       | 0       | 1       | 0       | 1     |
| $S(2)$                                | 0       | 1       | 1       | 1       | 1       | 1       | 1     |
| (Отдельные причины) $D(1)$            | 1       | 1       | 1       | 0       | 0       | 1       | 1     |
| $D(2)$                                | 0       | 0       | 0       | 1       | 1       | 1       | 1     |
| (Комплекс причин)                     | $d_1$   |         |         | $d_2$   |         |         | $d_3$ |
| (Комплекс симптомов и причин) $C_1^1$ | $C_1^2$ | $C_1^3$ | $C_2^2$ | $C_2^3$ | $C_3^2$ | $C_3^3$ |       |

Наблюдения (или анализ структуры системы) показали, что возможны только те комплексы симптомов и причин, которые в табл. 17.1 отмечены номерами 6, 7, 8, 11, 12, 15 и 16. Диагноз ставится с помощью этого усеченного базиса, представленного в виде пронумерованных столбцов Hare V. C., Jr., Systems Analysis: A Diagnostic Approach, ©1967, Harcourt Brace Jovanovich, Inc., p. 336. (Используется с разрешения)

частью всякой диагностической процедуры являются математические методы символической логики, теории вероятностей и теории предпочтений. Методы теории предпочтений связаны со стратегическим планом, который Ледли и Ластед характеризуют как ведение игры против природы [49, 50].

Опираясь на эту модель, Ледли и Ластед предложили схему вычислений с использованием двоичного кодирования и булевой алгебры, которая позволяет ставить однозначные диагнозы. Предложенная процедура является последовательной. На каждой итерации можно проводить проверки с тем, чтобы уменьшить число возможных неисправностей. Основная часть схемы состоит в построении матрицы «комплексы симптомов — комплексы причин (неисправностей)», которое проводится аналогично тому, как показано в табл. 17.1—17.3, где логическая единица

Таблица 17.3

Таблица комплексов симптомов и причин, содержащая 14 симптомов и 8 причин

| Номер                       | столбца | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|-----------------------------|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|
| История                     | S(1)    | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  |
|                             | → S(2)  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  |
|                             | → S(3)  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  |
| Врачебный осмотр            | → S(4)  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  |
|                             | → S(5)  | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  |
|                             | S(6)    | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  |
| Анализ крови                | S(7)    | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  |
|                             | S(8)    | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  |
|                             | → S(9)  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 1  |
|                             | → S(10) | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  |
|                             | S(11)   | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  |
|                             | → S(12) | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  |
| Исследования костного мозга | S(13)   | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  |
|                             | S(14)   | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  |
|                             | D(1)    | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
|                             | D(2)    | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  |
|                             | D(3)    | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  |
|                             | D(4)    | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  |
|                             | D(5)    | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  |
|                             | D(6)    | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  |
|                             | D(7)    | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  |
|                             | D(8)    | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  |

Комплексы симптомов

Комплексы заболеваний

Данный усеченный логический базис описывает исследования, проводимые в порядке возрастания их сложности. Несмотря на то что приведенный пример относится к медицине, аналогичная процедура может быть применена к другим системам. По окончании очередных диагностических исследований и обнаружения симптомов изучаются возможные диагнозы с тем, чтобы определить, какие исследования проводить на следующем этапе. Заимствовано из работы Ledley R S, Programming and Utilizing Digital Computers, p 341, ©1962, McGraw-Hill, Inc (Используется с разрешения.)



означает наличие симптома, а логический нуль — его отсутствие. Заметим, что факт отсутствия симптома так же важен для прогноза, как и его наличие. Конечным результатом является матрица, описывающая все возможные комбинации симптомов и причин. Порядок, или ранг, этой матрицы можно уменьшить, исключив те комбинации, существование которых никогда не наблюдалось.

Наряду с уменьшением числа возможных комбинаций проводятся соответствующие проверки до тех пор, пока не будет поставлен однозначный диагноз.

### Символическая логика<sup>1)</sup>

Для построения высказываний, которые могут быть сформулированы посредством логических операций, можно использовать булеву алгебру. Она позволяет преобразовывать сложные высказывания в более простые, для чего естественный язык плохо подходит. Другое преимущество выражений, записанных на языке символической логики, заключается в том, что они могут быть алгоритмизированы, и, следовательно, их можно обрабатывать без участия человека. Булева алгебра основана на двоичной системе счисления, где 0 означает ложное высказывание, а 1 — истинное. Все варианты высказываний представляются таблицей истинности. Для двух высказываний  $A$  и  $B$  все возможные ситуации описываются следующими комбинациями, состоящими из символов И (истина) и Л (ложь):

Высказывание  $A$ : Л И Л И  
Высказывание  $B$ : Л Л И И

В двоичной системе счисления это выглядит так:

Высказывание  $A$ : 0 1 0 1  
Высказывание  $B$ : 0 0 1 1

Строка чисел 0 1 0 1 называется *обозначающим числом*. Обозначающее число используется в логических операциях для определения истинности или ложности более сложных высказываний. Операция логического сложения  $(A+B)$  служит для обозначения следующего высказывания: «Либо высказывание  $A$  истинно, либо высказывание  $B$  истинно, либо они оба истинны». Для того чтобы  $(A+B)$  было истинным, необходимо, чтобы либо  $A$  было истинным, либо  $B$  было истинным, либо оба они были истинными. Рассмотрим следующий пример. Требуется

<sup>1)</sup> Материал данного и следующих разделов заимствован из работы Hare V. C., Jr., *Systems Analysis: A Diagnostic Approach*, © 1967, Harcourt Brace Jovanovich, Inc. (С разрешения автора и Harcourt Brace Jovanovich Inc.)

найти обозначающее число высказывания: «Наблюдаемый объект — либо марсианин, либо зеленый, либо зеленый марсианин». Определим высказывания  $A$  и  $B$  следующим образом:

|                                                   |         |
|---------------------------------------------------|---------|
| Высказывание $A$ : наблюдаемый объект — марсианин | 0 1 0 1 |
| Высказывание $B$ : наблюдаемый объект — зеленый   | 0 0 1 1 |
|                                                   | 0 1 1 1 |

*Результат.* Высказывание  $(A + B)$ : объект — либо марсианин, либо зеленый, либо зеленый марсианин

Действительно, обозначающее число 0 1 1 1 результата показывает, что высказывание  $A + B$  истинно только тогда, когда либо  $A$ , либо  $B$ , либо  $A$  и  $B$  истинны. Для логического сложения справедливы следующие правила:  $0 + 0 = 0$ ;  $0 + 1 = 1$ ;  $1 + 0 = 1$ ;  $1 + 1 = 1$ . Логическое умножение может быть применено к отрицаниям высказываний и их комбинаций. Например,

|                                                |         |
|------------------------------------------------|---------|
| Высказывание $\bar{A}$ : объект — не марсианин | 1 0 1 0 |
| Высказывание $\bar{B}$ : объект — не зеленый   | 1 1 0 0 |
|                                                | 1 0 0 0 |

*Результат* Высказывание  $(\bar{A} \bar{B})$ : объект не является зеленым марсианином, где  $\bar{A}$  — логическое отрицание  $A$ , а  $\bar{B}$  — логическое отрицание  $B$

Высказывание «объект не является ни марсианином, ни зеленым» истинно только тогда, когда и  $\bar{A}$ , и  $\bar{B}$  истинны, т. е. при умножении элементов первого столбца. Заметим, что в данном случае нули и единицы располагаются в обратном порядке по отношению к предыдущим высказываниям. Для логического умножения мы используем запись  $(A \cdot B)$ , которая означает следующее: «Высказывание  $A$  и  $B$  истинно тогда и только тогда, когда и  $A$ , и  $B$  истинны. Например, если  $A$  — марсианин, а  $B$  — зеленый, то для того, чтобы высказывание  $(A \cdot B)$  было истинно, необходимо, чтобы и  $A$ , и  $B$  были истинны.

|                                       |         |
|---------------------------------------|---------|
| Высказывание $A$ : объект — марсианин | 0 1 0 1 |
| Высказывание $B$ : объект — зеленый   | 0 0 1 1 |
|                                       | 0 0 0 1 |

*Результат.* Высказывание  $(A \cdot B)$ : объект есть зеленый марсианин

Для логического умножения справедливы следующие правила:  $0 \cdot 0 = 0$ ;  $1 \cdot 0 = 0$ ;  $0 \cdot 1 = 0$  и  $1 \cdot 1 = 1$ .

## Таблицы комплексов симптомов и причин

Символическая логика и приведенные выше логические операции могут быть успешно использованы для изучения проблемы диагностирования. В табл. 17.1 приводятся 16 комплексов, или комбинаций, симптомов и причин. Номера столбцов

соответствуют этим комбинациям. Верхний индекс  $i$  указывает на четыре возможные комбинации симптомов. В каждую такую комбинацию входит или первый симптом  $S(1)$ , или второй симптом  $S(2)$ , или оба вместе  $S(1)$  и  $S(2)$ . Каждый из этих вариантов описывается обозначающими числами:

$$S(1) \ 0 \ 1 \ 0 \ 1$$

$$S(2) \ 0 \ 0 \ 1 \ 1$$

Нижний индекс  $j$  указывает на четыре возможные комбинации отклонений системы или причин этих отклонений. В каждую такую комбинацию входит либо  $D(1)$ , либо  $D(2)$ , либо  $D(1)$  и  $D(2)$ . Комплексы симптомов обозначены через  $s^i$ , а комплексы причин через  $d_j$ . Допустим, что диагностом когда-либо наблюдались только комплексы симптомов  $s^i = 6, 7, 8, 11, 12, 15, 16$ . Тогда остальные комплексы симптомов можно исключить как не существующие. В табл. 17.2 отражены все возможные для данной ситуации случаи, число которых уменьшилось. Эта таблица составляет основу для диагностирования. Теперь необходимо дать информацию, касающуюся существования симптомов  $S(1)$  и  $S(2)$ . Используя вышеприведенную формулировку, можно сказать, что требуется определить состояние системы, т. е. установить, допустимым (или недопустимым) оно является, и в конечном итоге определить комплекс причин, к которому относится это состояние. Например, наличие обоих симптомов  $S(1)$  и  $S(2)$  позволило бы нам заключить, что имеет место комплекс симптомов  $s^3$ . Комплексы симптомов и причин  $C_1^3$ ,  $C_2^3$  и  $C_3$  могли бы иметь место в тех случаях, когда существует либо  $D(1)$ , либо  $D(2)$ , либо и то и другое. Для того чтобы из этих трех состояний системы можно было бы выбрать одно, необходимо произвести дополнительную проверку. Если получена информация о том, что  $S(1)$  имеет место, а  $S(2)$  нет, то единственно правильным диагнозом является  $D(1) \cdot \overline{D(2)}$ , где  $\overline{D(2)}$  означает логическое отрицание  $D(2)$ .

Табл. 17.3 является более сложной таблицей комплексов симптомов и причин, в которой указано 14 симптомов и 8 причин. В данном примере [51] диагностические тесты были ранжированы в порядке трудности их проведения от  $S(1)$  до  $S(14)$ . Диагностическая процедура проводится для того, чтобы на основании обнаруженных симптомов можно было определить заболевание. Допустим, что врач знакомится с историей болезни пациента и выявляет симптомы  $S(2)$  и  $S(3)$ . Это исключает возможность существования комплексов симптомов и болезней, представленных в столбцах с 12 по 16. Если предположить далее, что у пациента обнаружен симптом  $S(4)$ , а симптом  $S(5)$  не был установлен, то можно исключить столбцы 1, 2, 10 и 11. На

основании исследований крови  $S(9)$ ,  $S(10)$  и  $S(12)$  можно далее сократить число оставшихся возможных случаев. В результате трех проверок могут возникнуть  $2^3$ , или 8, различных вариантов, как показано ниже:

| Исследование | Столбцы |   |   |   |   |   |   |    |
|--------------|---------|---|---|---|---|---|---|----|
|              | 3       | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 14 |
| $S(9)$       | 1       | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0  |
| $S(10)$      | 1       | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1  |
| $S(12)$      | 1       | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0  |

Напомним, что столбец 14 можно исключить из рассмотрения, поскольку ранее у пациента были обнаружены симптомы  $S(2)$  и  $S(3)$ . Таким образом, все возможные случаи описаны столбцами с 3 по 9. Чтобы поставить окончательный диагноз, необходимо провести дальнейшее исследование. Поскольку никакие другие анализы не позволили нам среди оставшихся семи возможных вариантов выбрать один, проведем последний этап проверок — исследование костного мозга.

Модель Ледли — Ластеда представляет интерес, поскольку в ней содержится ряд основных элементов, включенных в диагностические модели ЭВМ. Логическое построение матрицы комплекса симптомов основано на построении дерева решений, каждая ветвь которого соответствует одному отклонению системы и связанной с ним комбинации симптомов.

### Теория вероятностей

Во многих случаях для того, чтобы однозначно поставить диагноз, следует воспользоваться методами статистики. Вероятностный диагноз основан на определении вероятностей, как можно видеть из табл. 17.4, имеющей отношение к ранее обсуждавшейся таблице комплексов симптомов и причин. Допустим, что у пациентов обнаружены симптомы  $S(1)$  и  $S(2)$  и что в результате обследования 2400 больных были разделены на группы в соответствии с табл. 17.4,а. Соответствующие результаты приводятся в табл. 17.4,б в форме *диагностической вероятностной таблицы*, представляющей матрицу, строки которой соответствуют комплексу причин  $d_j$ , а столбцы — комплексу симптомов  $s^i$ . Теперь информация может быть представлена в виде совместных и безусловных вероятностей (табл. 17.5).

1. Совместные вероятности получают делением элементов матрицы на общее число наблюдений. Например, элемент  $(s^1 d_1)$  табл. 17.5 равен  $600/2400$ , или  $6/24$ .

Таблица 17.4

## Построение диагностической вероятностной таблицы

| $s^i$              | 1   | 2   | 3   | 2   | 3   | 2   | 3   |            |
|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------------|
| $S(1)$             | 1   | 0   | 1   | 0   | 1   | 0   | 1   |            |
| $S(2)$             | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   |            |
| $D(1)$             | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   |            |
| $D(2)$             | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   |            |
| Наблюдаемые случаи | 600 | 300 | 300 | 300 | 300 | 400 | 200 | Всего 2400 |

 $a$ 

|                       |   | Комплекс симптомов $s^i$ |     |      |     | Сумма чисел в строке |
|-----------------------|---|--------------------------|-----|------|-----|----------------------|
|                       |   | 0                        | 1   | 2    | 3   |                      |
|                       | 0 | 0                        | 0   | 0    | 0   | 0                    |
| Комплекс              | 1 | 0                        | 600 | 300  | 300 | 1200                 |
| причин $d_j$          | 2 | 0                        | 0   | 300  | 300 | 600                  |
|                       | 3 | 0                        | 0   | 400  | 200 | 600                  |
| Сумма чисел в столбце |   | 0                        | 600 | 1000 | 800 | 2400                 |
|                       |   |                          |     |      |     | Общая сумма          |

 $b$ 

$a$  — усеченный логический базис, показывающий число случаев, когда наблюдалось каждое из сочетаний симптомов и причин;  $b$  — диагностическая вероятностная таблица, Hare V. C., Jr., Systems Analysis: A Diagnostic Approach, ©1967, p. 343. (Используется с разрешения.)

2. Для нахождения безусловных вероятностей вычисляют суммы элементов в каждой строке и в каждом столбце и полученные величины делят на 2400. Так, числа в столбце  $P(d_j)$  табл. 17.5 означают вероятности появления соответствующих комплексов причин для  $j = 0, 1, 2, 3$ . Числа в строке  $P(s^i)$  той же таблицы означают вероятности появления соответствующих комплексов симптомов для  $i = 0, 1, 2, 3$ .

3. Условные вероятности могут быть получены делением каждого элемента матрицы на сумму чисел в соответствующей строке или столбце. Так, вторая строка в табл. 17.6 получается делением величин 0, 6/24, 3/24, 3/24, взятых из табл. 17.5 на сумму чисел в этой строке, т. е. на 12/24. Мы получаем величины

Таблица 17.5

Вычисление вероятностей на основании наблюдений

Комплекс симптомов  $s^i$

| Комплекс причин<br>$d_j$ |   |                |                 |                | $P(d_j)$        |
|--------------------------|---|----------------|-----------------|----------------|-----------------|
|                          | 0 | 1              | 2               | 3              |                 |
|                          | 0 | 0              | 0               | 0              | 0               |
|                          | 1 | 0              | $\frac{6}{24}$  | $\frac{3}{24}$ | $\frac{12}{24}$ |
|                          | 2 | 0              | 0               | $\frac{3}{24}$ | $\frac{6}{24}$  |
|                          | 3 | 0              | 0               | $\frac{4}{24}$ | $\frac{6}{24}$  |
| $P(s^i)$                 | 0 | $\frac{6}{24}$ | $\frac{10}{24}$ | $\frac{8}{24}$ | $\frac{24}{24}$ |

*a*

| Комплекс симптомов<br>и причин | $C_1^1$        | $C_1^2$        | $C_1^3$        | $C_2^2$        | $C_2^3$        | $C_3^2$        | $C_3^3$        |
|--------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| $R(C_j^i)$                     | $\frac{6}{24}$ | $\frac{3}{24}$ | $\frac{3}{24}$ | $\frac{3}{24}$ | $\frac{3}{24}$ | $\frac{3}{24}$ | $\frac{3}{24}$ |

*б*

*a* — переход от наблюдений к вероятностям. Таблица содержит результаты деления каждого элемента табл. 17.4, *б* на общее число наблюдений 2400, представляющие собой значения вероятности появления соответствующих комплексов симптомов и причин  $[P(C_j^i)]$ . Значения вероятности появления данного комплекса симптомов  $P(s^i)$  и вероятности появления данного комплекса причин  $P(d_j)$  приводятся в конце соответствующих строк и столбцов.

*б* — другая форма представления вероятностей из табл. 17.5, *a*. Показана связь между значениями  $P(C_j^i)$  и столбцами усеченного логического базиса. Аналогичный результат может быть получен делением величин из последней строки табл. 17.4, *a* на 2400.

Первоисточники: см. сноску на стр. 588.

0,  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{4}$ , которые являются условными вероятностями появления комплексов симптомов  $s^i$  ( $i = 0, 1, 2, 3$ ) при заданном комплексе причин в случае  $d_1$ . Эта условная вероятность может быть записана как  $P(s^i/d_1)$ , или в общем случае как  $P(s^i/d_j)$ . Аналогичные операции можно проделать и для каждого столбца табл. 17.5, используя при этом сумму чисел в столбце и получая величины  $P(d_j/s^i)$ , представляющие условные вероятности появления отдельных комплексов причин при заданном комплексе симптомов (см. табл. 17.6, *б*). Например, элементы четвертого столбца матрицы (табл. 17.5, *a*) можно разделить на их сумму, т. е. на  $\frac{8}{24}$ . В результате мы получим значения 0,  $\frac{3}{8}$ ,  $\frac{3}{8}$ ,  $\frac{2}{8}$  (табл. 17.6, *б*), которые соответствуют вероятностям  $P(s^3/d_j)$ ,  $j = 0, 1, 2, 3$ . Заметим, что сумма

Таблица 17.6

Условные вероятности, полученные из табл. 17.4, б

Комплекс симптомов  $s^i$ 

|                                    |          | 0 | 1      | 2      | 3      |
|------------------------------------|----------|---|--------|--------|--------|
| $P(s^i/d_j)$ Комплекс причин $d_j$ | 0        | 0 | 0      | 0      | 0      |
|                                    | 1        | 0 | $1/2$  | $1/4$  | $1/4$  |
|                                    | 2        | 0 | 0      | $1/2$  | $1/2$  |
|                                    | 3        | 0 | 0      | $2/3$  | $1/3$  |
|                                    | $P(s^i)$ | 0 | $3/12$ | $5/12$ | $4/12$ |

а

Комплекс симптомов  $s^i$ 

|                                    |   | 0 | 1 | 2      | 3     | $P(d_j)$ |
|------------------------------------|---|---|---|--------|-------|----------|
| $P(d_j/s^i)$ Комплекс причин $d_j$ | 0 | 0 | 0 | 0      | 0     | 0        |
|                                    | 1 | 0 | 1 | $3/10$ | $3/8$ | $1/2$    |
|                                    | 2 | 0 | 0 | $3/10$ | $3/8$ | $1/4$    |
|                                    | 3 | 0 | 0 | $4/10$ | $2/8$ | $1/4$    |

б

а—значения условных вероятностей  $P(s^i/d_j)$  (Заметим, что сумма элементов в каждой строке матрицы равна 1.) Условные вероятности  $P(s^i/d_j)$  получаются делением каждого элемента матрицы на сумму элементов соответствующей строки;  $P(s^i/d_j)$  означает вероятность появления комплекса симптомов  $i$  при условии истинности  $d_j$ ; величину  $P(s^i)$  находят в результате аналогичных вычислений.

б—значения условных вероятностей  $P(d_j/s^i)$ . (Заметим, что сумма элементов в каждом столбце матрицы равна 1.) Условные вероятности  $P(d_j/s^i)$  получаются делением каждого элемента матрицы на сумму элементов соответствующего столбца;  $P(d_j/s^i)$  означает вероятность появления комплекса причин  $j$  при условии, что имеет место комплекс симптомов  $i$ , величину  $P(d_j)$  находят в результате аналогичных вычислений.

Первоисточник: см. сноску на стр. 588

условных вероятностей по строкам или столбцам дает единицу. Например,  $0 + 3/8 + 3/8 + 2/8 = 1$ . Читатель заметил, что у нас имеются два множества условных вероятностей:  $P(s^i/d_j)$  и  $P(d_j/s^i)$ . Ими можно воспользоваться для определения возможного диагноза. Возникает вопрос: каким из этих двух множеств следует воспользоваться, т. е. какое из них надо построить? Было бы логичнее приступить к решению проблемы диагностирования, располагая величинами  $P(d_j/s^i)$ . В этом случае

при условии, что комплексы симптомов изучены, диагност мог бы сравнить комплексы причин и выбрать среди них тот, вероятность появления которого наибольшая. Однако в тех областях медицины, где в основном применяется диагностирование, используется  $P(s^i/d_j)$ , а не  $P(d_j/s^i)$ . Возражением против использования последней величины является то, что она больше, чем первая, изменяется при «изменении времени и места проведения опыта... Величина  $P(d_j/s^i)$  зависит от характеристик выборки, используемой для последующей обработки. Небольшое изменение в комплексе причин определенного вида со временем может сильно изменить картину». С другой стороны,  $P(s^i/d_j)$  «практически не зависит от выборки пациентов, а определяется знаниями о симптомах и причинах» [52].

### Корректирование вероятностей

Преимущество использования величины  $P(d_j/s^i)$  заключается в том, то диагност может продолжить корректирование вероятности с учетом получаемой информации. Это «корректирование» основано на хорошо известной теореме Байеса, которая может быть сформулирована следующим образом:

$$P(d_j/s^i) = \frac{P(d_j) P(s^i/d_j)}{\sum_j P(d_j) P(s^i/d_j)},$$

где  $P(s^i/d_j)$  — известное множество условных, или «априорных», вероятностей. Построение этого множества основано на постоянном соотношении между комплексами симптомов и комплексами причин;  $P(d_j)$  — новая информация, полученная в результате эксперимента с текущей выборкой пациентов;  $\sum_j P(d_j) P(s^i/d_j)$  — сумма по всем  $j$  произведений приведенных выше величин, а  $P(d_j/s^i)$  — новое множество условных, или «апостериорных», вероятностей.

В качестве примера обратимся к табл. 17.7, в которой даны априорные вероятности  $P(s^3/d_j)$ , равные  $0, 1/4, 1/2, 1/3$ , что соответствует третьему столбцу в табл. 17.6, а. Величины  $P(d_j)$  образуют новую информацию. Читатель без труда сможет проверить наши вычисления, в соответствии с которыми получено следующее множество апостериорных вероятностей:

$$P(d_1/s^3) = \frac{1/4 \cdot 1/4}{19/48} = 0,16,$$

$$P(d_2/s^3) = \frac{1/2 \cdot 1/2}{19/48} = 0,63,$$

$$P(d_3/s^3) = \frac{1/4 \cdot 1/3}{19/48} = 0,21.$$



Таблица 17.7

## Корректирование вероятностей

| $d_j$ | Априорные<br>вероятности<br>$P(s^3/d_j)$ | Новая<br>информация<br>$P(d_j)$ | Апостериорные<br>вероятности<br>$P(d_j/s^3)$ |
|-------|------------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------------------|
| $d_1$ | $1/4$                                    | $1/4$                           | 0,16                                         |
| $d_2$ | $1/2$                                    | $1/2$                           | 0,63                                         |
| $d_3$ | $1/8$                                    | $1/4$                           | 0,21                                         |

Значения  $P(s^3/d_j)$  взяты из третьего столбца табл. 17.6, а и представляют постоянное соотношение между симптомами и заданными причинами. Значения  $P(d_j)$  получают в результате изучения выборки; они изменяются во времени и пространстве.

Первоисточник: см сноску на стр 588.

До поступления новой информации комплекс причин  $d_2$  был наиболее вероятным. С получением новых данных порядок расположения трех заболеваний не изменился, однако, читатель заметил, что вероятность, соответствующая  $d_2$ , возросла с 0,5 до 0,63, что должно склонить диагноста к тому, что причиной недомогания является скорее всего это заболевание. Величины априорных и апостериорных вероятностей для данного примера приводятся в табл. 17.7. Если в наше распоряжение поступает новая информация, полученная в результате дополнительных экспериментов, то апостериорные вероятности могут вновь измениться. Если опять применить теорему Байеса, то множество апостериорных вероятностей становится новым множеством априорных вероятностей и т. д. Другие примеры читатель может найти в работе [53], где ее автор рассмотрел ряд интересных приложений.

## Автоматизированная диагностическая система Байеса<sup>1)</sup>

Автоматизированная система, в которой используется подход Байеса, была разработана Гори [54]. В данной модели особое внимание уделяется проверяющим стратегиям. Кроме того, в процессе принятия решений вводится функция потерь. По мнению Гори и Барнета, в диагностике существуют две основные функции — функция вывода и функция критерия выбора.

<sup>1)</sup> Материал заимствован из работы Pipino L. L., The Application of Fuzzy Sets to System Diagnosis and the Design of a Conceptual Diagnostic Procedure, Amherst, Mass, University of Massachusetts, Doctoral Dissertation, 1975. (Я признателен автору, предоставившему мне возможность воспользоваться своей работой.)

По существу любая модель должна предусматривать взаимосвязь между обеими этими функциями.

В начальной стадии оценка состояния системы производится на основе данных закончившегося диагностического эксперимента и обнаруженных новых свойств или симптомов. При этом используется функция вывода, основанная на формуле Байеса. В каждой вершине дерева решений функция критерия выбора ранжирует возможные варианты решения. Используемый критерий решения основан на минимизации ожидаемых потерь, где последние определяются как сумма затрат, связанных с неверным диагнозом (потери из-за неправильного решения) и с проведением дальнейшего исследования. Если можно провести такой анализ, для которого ожидаемые потери из-за неправильного решения плюс затраты, необходимые на проведение этого анализа, меньше, чем ожидаемые потери вследствие неправильного решения, имеющие место до фактического проведения этого анализа, то исследование будет продолжено дальше. При таком подходе в процессе принятия решений явным образом учитываются затраты, возникающие из-за ошибок. Свои основные положения Гори резюмирует следующим образом:

Поскольку из-за принятия неверного решения возможны потери, немаловажным является широкое исследование, проводимое перед принятием любого решения. Задача здесь заключается в том, чтобы, уравнивая затраты, связанные с проведением исследования, и затраты из-за неверного решения, построить последовательную функцию решений. Эта функция позволила бы описать такую диагностическую процедуру, что суммарные ожидаемые потери, связанные с неточностью окончательного решения, были бы минимальными [55]

## Диагностирование как распознавание образов

Диагностический процесс можно рассматривать также в более широком смысле, т. е. как процедуру распознавания образов, с помощью которой «предпринимается попытка установить взаимосвязь между образом системы, или вектором ее характеристик (симптомов), и определенным состоянием системы (нарушениями в работе и причинами нарушений)» [56]. Как показано Гори, между проблемами диагностирования и распознавания образов имеются и сходство, и различие [57]. В классической теории распознавания образов задача состоит в том, чтобы «установить факт принадлежности классу и подобрать решающий критерий для измерения в каждом классе... Отдельные классы образов можно распознать различными методами — от построения множества характерных образов до определения функциональной характеристики вероятностного процесса, породившего образы класса» [57]. Необходимо разработать процедуры, позволяющие определить, насколько подобны или

различны характерные свойства образов и тех классов, факт принадлежности к которым устанавливается. Понятие диагноза можно истолковать как выбор такого состояния системы из совокупности всех ее состояний, которое соответствует определенному множеству свойств, присущих данной системе. Такой выбор в некоторой степени аналогичен процедуре определения степени подобия между свойствами исследуемого образа и свойствами опознанных классов образов. Диагностирование отличается от распознавания образов тем, что в этом случае свойства классов могут быть не полностью определены к моменту установления принадлежности к классу. Для того чтобы более полно выявить характерные особенности комплексов причин, требуются дополнительные исследования. Таким образом, распознавание класса и распределение образов по классам могут производиться одновременно [57].

Пэтрик и др. [58] определяют медицинскую систему на основе теории распознавания образов, с помощью которой *систему* можно разделить на *подсистемы*, например на системы органов или классификационные системы заболеваний. Можно указать следующие подсистемы, входящие в систему внутренних органов: почечную, сердечно-сосудистую, дыхательную и т. д. К классификационным системам заболеваний относятся такие подсистемы, как бактериальная, вирусная, внутрисердечная, миокардиальная и т. д. Каждая подсистема образует объект классов, которые в свою очередь могут быть связаны с подмножеством *свойств* и подмножеством *измерений*.

Действие медицинской системы основано на непрерывном взаимодействии ее *диагностических* и *консультативных* компонентов, посредством которого последние предоставляют информацию первым с тем, чтобы можно было принять решение относительно курса лечения. Цель такой модели взаимодействия заключается в том, чтобы найти взаимосвязь между результатами измерений и свойствами, а также между классом и свойствами. Такая взаимосвязь позволит распознавать конкретные классы. Данная модель является настолько общей, что все известные диагностические модели описываются с помощью определенных выше характеристик. Пэтрик и др. соединили воедино различные подходы, которые использовались в автоматизированном процессе консультирования и принятия решений в медицине [58]. Они выразили сожаление по поводу того, что до сих пор «не было предпринято попытки изучить взаимосвязь между существующими подходами и разработать унифицированный подход». Авторы данного исследования надеются, что благодаря их модели будут выявлены достоинства и недостатки всех работ, опубликованных к настоящему моменту, и будет начато проведение исследований в тех областях, где это необходимо.

Пэтрик и др. приводят различные решающие правила, «позволяющие на основании результатов исследования пациента поставить однозначный диагноз, сделать выбор между различными курсами лечения и возможными прогнозами». Они приводят также правила, которые известные им авторы использовали для того, чтобы по данным измерения построить множества характерных признаков, а исходя из последних, построить множества классов. Кроме того, эти ученые занимались вопросами классификации подсистем, что необходимо для медицины. Наконец, их модель позволяет выбрать курс лечения на основе критериев полезности, функции потерь и других методов оценки [58].

Более подробно различные подходы к решению проблемы диагностирования освещены в работах [59].

## Современный подход к диагностированию <sup>1)</sup>

В традиционной таксономии, включая численную таксономию, проводится строгое разделение между теми признаками, которые являются симптомами, и теми, которые ими не являются, между тем, что образует комплекс причин, и тем, что его не образует. Деление класса на два подкласса производится однозначно, и при этом не допускается неопределенности. При изучении ряда вопросов, касающихся диагностического процесса, можно использовать прикладные методы теории размытых множеств (гл. 9). Эти вопросы включают 1) переход от нормы к аномалии; 2) определение степени важности, или значимости, переменной; 3) установление степени неопределенности в функциях потерь и затрат; 4) существенность симптомов и отклонений.

### 1. Норма и аномалия

В описанной выше модели Ледли — Ластеда, для того чтобы показать существование или отсутствие симптомов или причин в таблице комплексов симптомов и причин, использовалась двоичная система счисления. Представление информации в двоичной системе счисления отражает тот факт, что все суждения строго разделяются на истинные и ложные и никаких промежуточных вариантов не допускается. Современная точка зрения на

<sup>1)</sup> Все понятия и основные положения настоящего и последующих разделов заимствованы из работы Pipino L. L., *The Application of Fuzzy Sets to System Diagnosis and the Design of a Conceptual Diagnostic Procedure*, Amherst, Mass., University of Massachusetts, Doctoral Dissertation, 1975. (Используется с разрешения автора.)

данный вопрос состоит в том, что знания диагноста относительно тех признаков, которые характеризуют отличия нормального и аномального состояний системы или подтверждают наличие или отсутствие симптомов, могут быть неточными. Понятие неточности понимается так, как оно определялось в гл. 9 при выявлении различий между понятиями «абсолютный», «возможный» и «размытый». Мы предлагаем читателю вновь обратиться к данной теме, прежде чем приступить к изучению дальнейшего материала. В некоторых случаях бывает трудно определить точно, являются ли наблюдаемые признаки симптомами или нет. Этот факт признается в учебниках по медицинской диагностике. Например, Х. Конн и Р. Конн утверждают, что «для большинства наблюдений не существует строгой границы между нормальным и патологическим состояниями. Чем больше результаты измерений отличаются от обычных результатов, тем больше мы уверены в том, что имеет место патология» [60].

Ластед [61] указывает на то, что Уорнер признавал возможность неоднозначности таких переходных областей. Результатом этого явилось включение в формулу Байеса субъективной вероятностной оценки нормы и аномалии в наблюдении. Однако в подавляющем большинстве моделей безоговорочно предполагается, что границы являются строго определенными.

Далее мы считаем, что на оценку нормального (или аномального) состояния влияет существующее отклонение. Поэтому ответ на вопрос о том, являются ли наблюдаемые признаки симптомами заболевания или нет, зависит от характера предполагаемого заболевания. Ледли [62] подразумевает это, когда предлагает разделить континуум на интервалы и рассматривать каждый интервал как отдельную двоичную переменную (означающую наличие или отсутствие симптома).

Нетрудно заметить, что в каждом из трех случаев проводится субъективная оценка переходных областей такого типа, который может быть описан функциями принадлежности, имеющими отношение к теории размытых множеств (гл. 9). Напомним, что функция принадлежности используется для описания размытой границы, или переходной области от множества нормальных значений переменной, которые последняя принимает при отсутствии симптома, до множества аномальных значений той же переменной, которые она принимает при наличии симптома. На рис. 17.3 показано, как выглядит функция принадлежности, когда переходная область от нормального к аномальному состоянию является неразмытой. На рис. 17.4 изображены функции принадлежности, описывающие переходную область для двух различных отклонений,  $d_i$  и  $d_k$ . В гл. 9 мы уже отмечали, что оценка функций принадлежности всегда является субъективной. Именно поэтому получают различные функции в

тех случаях, когда два человека пытаются описать переходную область для одного и того же отклонения. Иными словами, одно и то же множество значений переменной  $V_i$  два разных человека

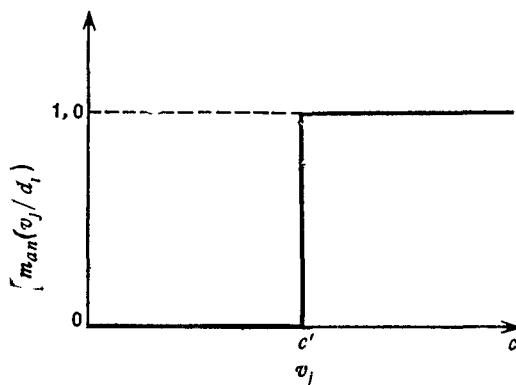


Рис. 17.3. Функция принадлежности для неразмытого перехода от нормального к аномальному состоянию [32]. (Используется с разрешения.)

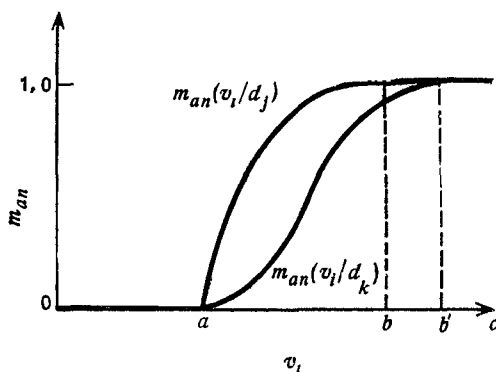


Рис. 17.4. Функции принадлежности, описывающие размытую переходную область от нормального к аномальному состоянию, соответствующую двум различным отклонениям [32]. (Используется с разрешения.)

различным образом разобьют на области нормальных и аномальных значений. Форма и размеры переходных областей зависят от функции принадлежности.

## 2. Значимость переменной

Выше мы указывали на необходимость исследования признака на предмет его значимости по отношению к определенным классам или определенным отклонениям. Предполагается, что существенные признаки имеют непостоянную степень значимо-

сти, или важности, при диагностировании различных отклонений. Поэтому следует дополнительно уточнить значимость признаков. Кроме того, необходимо исследовать, существенным ли является тот факт, что признак отсутствует. Мера степени значимости называется *важностью переменной*.

Каждая системная переменная  $V_i$  имеет различную степень важности для определения каждого отклонения  $d_j$ . Эта зависимость может быть описана с помощью функции принадлежности  $\alpha_{ij} = \alpha(V_i, d_j)$ , которая принимает значения в интервале  $[0, 1]$ . Данная функция характеризует степень важности  $i$ -й переменной по отношению к  $j$ -му отклонению. Она показывает, насколько существенной является зависимость между  $i$ -й переменной и  $j$ -м отклонением. Следует отметить, что зависимость определяется не просто между симптомом и неупорядоченностью, а между переменной и неупорядоченностью. Эти два вида зависимости имеют важное отличие: в последнем случае при решении проблемы обнаружения неупорядоченности удастся воспользоваться отсутствием существенного симптома.

### Диагностическая процедура, оперирующая понятиями теории размытых множеств

Используя разработанные ранее операционные системы [54—59], Пипино показывает, как понятия теории размытых множеств могут быть включены в диагностирование. Предлагаемая процедура включает следующие компоненты: 1) обнаружения неупорядоченности; 2) выбора направления исследования и принятия решения по его продолжению или прекращению и 3) выбора способа устранения неупорядоченности.

Таким образом, диагностический процесс можно рассматривать как ряд шагов, посредством которых последовательно осуществляются обнаружение и устранение неупорядоченности:

- а) начать наблюдения;
- б) получить информацию об уровне важности каждого симптома;
- в) по каждой комбинации симптомов и отклонений описать функцию принадлежности для нормального или аномального состояния системы (или для обоих состояний системы);
- г) дать строгое определение каждому возможному виду неупорядоченности;
- д) с помощью функции распознавания определить, насколько близки наблюдаемые состояния системы к предполагаемым неупорядоченным состояниям, на основании чего построить множество возможных отклонений, которые должны быть изучены;

е) для каждого отклонения определить уровень важности каждой переменной с точки зрения ее близости к критическому уровню;

ж) в зависимости от того, насколько близок уровень каждого вида неупорядоченности к ее критическому уровню, продолжить выполнение процедуры или перейти к исправлению системы;

з) на основании критериев, позволяющих сравнивать затраты на дополнительное исследование с затратами, вызванными неправильным диагнозом, определить, следует продолжать исследование или нет [63];

и) выбор способа исправления системы зависит от уровней важности симптомов. Симптоматический метод избирается тогда, когда имеет место наивысшее проявление симптомов.

Появление теории размытых множеств и ее использование в диагностике при построении концептуальной основы и поиске решений, по-видимому, окажут большое влияние на развитие теории принятия решений и методов решения и исследования, в частности на их связь со всеми проблемами, существующими в общественных науках. Теория размытых множеств хорошо подходит для изучения «мягких» систем, в которых вследствие субъективных оценок границы подвергаются изменениям, а переходные области являются неопределенными.

## Заключение.

### Расширенная трактовка проблемы диагностирования

Читателю следует вновь обратиться к рис. 17.2 с тем, чтобы пересмотреть концептуальную основу проблемы диагностирования и познакомиться с расширенной трактовкой этой проблемы. Мы уделили немало внимания медицинской диагностике, поскольку именно в этой области достигнут наибольший прогресс. Однако процедура диагностирования имеет более широкое применение и может использоваться в других областях, связанных с методами управления системами.

Диагностирование повреждений в механических системах, металлических конструкциях или других системах, созданных человеком, в некотором смысле не отличается от диагностирования заболевания человека или отклонений в его организме. Обычно возникающие неисправности и повреждения в системах неправильно называют «несчастливыми случаями» или «стихийными бедствиями», полагая при этом, что эти события нельзя предотвратить или предвидеть и что невозможно их избежать. Отклонения в системе мы изучили настолько, что овладели



начальным подходом, позволяющим бороться с ними и принимать соответствующие меры. Существует большое отличие между исправлениями системы, вызванными отклонениями в ее работе и отказами (повреждениями) системы [64]. Прогресс в диагностировании повреждений в системах будет достигнут в том случае, если мы откажемся от рассмотрения системы как совокупности элементов, которые могут независимо друг от друга выходить из строя, и будем рассматривать отказ в работе системы как *процесс*, вследствие которого система переходит из одного состояния (состояния равновесия) в другое (состояние сбоя). Рассматриваемый как процесс отказ в работе приобретает иной смысл. Вместо поиска отдельных поврежденных элементов основное внимание сосредоточивается на изучении сил, под воздействием которых система переходит из одного состояния в другое. Таким образом, диагностирование становится динамическим методом, который в отличие от методов, основанных на изучении содержания и структуры системы, связан с исследованием процессов, протекающих в системе, и сил, вызывающих их появление. Это новое понятие диагностирования хорошо согласуется с принципом ОТС.

Как отметил Рассел, «физика прекратила поиск причин...» [65]. Вместо этого она стремится определить *взаимосвязь* между рассматриваемыми явлениями. Диагностирование повреждений в большинстве случаев представляет собой исследование, проводимое после наступления события. В данном случае руководствоваться причинной связью (*А* явилось причиной *В* или наоборот) было бы бессмысленно и методологически необоснованно. Повреждения в системе и сбой в ее работе представляют собой сложную открытую систему. «Никакого сбоя в работе не может произойти на пустом месте. Он всегда связан с системой или системами» [66]. Как и при изучении сложных организованных и целенаправленных систем, нас интересует взаимосвязь между компонентами системы и результатом их взаимодействия. Повреждения в системе как частный случай сбоя в ее работе останутся невыясненными до тех пор, пока мы не приступим к анализу системы. Следует использовать «холистский» подход, при котором для объяснения некоторого события вместо изучения свойств отдельных компонентов системы проводится анализ их взаимодействия с учетом сложной динамической структуры системы. С помощью диагностической процедуры, позволяющей классифицировать результаты наблюдений, и системного подхода, последовательно используемых на стадиях обнаружения, оценки и исправления, может быть разработан эффективный метод обработки систем, позволяющий вновь переводить их в приемлемое рабочее состояние.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Annett J., Kay H., Skilled Performance, *Occupational Psychology*, 30, 112—117 (1956).
2. Fuller E., Insights for the Age of Science, *Wall Street Journal*, 10, 16 (March 1971).
3. Annett J., Feedback and Human Behavior, Penguin, Middlesex, England, 1969.
4. Annett J., Kay H., Knowledge of Results and Skilled Performance, *Occupational Psychology*, 31, 2, 69—79 (April 1957).
5. Van Gigch J. P., The Impact of Technology on the Mental Content of Work in Industrial Operations, Unpublished doctoral dissertation, Oregon State University, Corvallis, Oreg., 1968.
6. Senders V. L., Cohen J., The Effects of Sequential Dependencies on Instrument Reading Performance, in Quastler H., *Information Theory in Psychology*, Free Press, New York, 1955.
7. Van Gigch J. P., A Model for Measuring the Information Processing Rates and Mental Load of Complex Activities; Van Gigch J. P., Applications of the Model, *Canadian Operational Research Society Journal*, 8, 2, 116—128 (July 1970); *Canadian Operational Research Society Journal*, 8, 3, 176—184 (November 1970).
8. Winkler R. L., The Quantification of Judgment: Some Experimental Results, Proceedings of the American Statistical Association, 1967, pp. 386—395.
9. Winkler R. L., Probabilistic Prediction Some Experimental Results, *Journal of the American Statistical Association*, 66, 336 (December 1971).
10. Mitroff I. I., A Communication Model of Dialectical Inquiring Systems — A Strategy for Strategic Planning, *Management Science*, 17, 10, B-634 — B-648 (June 1971).
11. Winkler B. L., The Quantification of Judgment: Some Experimental Results, Proceedings of the American Statistical Association, 1967, pp. 386—395.
12. Slovic P., MacPhillamy D., Dimensional Commensurability and Cue Utilization in Comparative Judgment, *Organizational Behavior and Human Performance*, 11, 2, 172—193 (April 1974).
13. Beer S., The World We Manage, *Behavioral Science*, 18, 3, 198—209 (May 1973); Beer S., Platform for Change, Wiley, New York, 1975.
14. Goldberg L. R., Man Versus Model of Man, *Psychological Bulletin*, 73, 6, 422—432 (1970).
15. Yntema D. B., Torgenson W. S., Man Computer Cooperation in Decisions Requiring Common Sense, *IRE Transactions of the Professional Group on Human Factors in Electronics*, HFE-2, 20—26 (1961).
16. Slovic P., Lichtenstein S., Comparison of Bayesian and Regression Approaches to the Study of Information Processing in Judgment, *Organizational Behavior and Human Performance*, 6, 6, 649—744 (December 1971).
17. Daves R. M., The Role of the Expert in Constructing Predictive Systems, Proceedings of the IEEE Systems, Man Cybernetics Conference, Dallas, 1974; Daves R. M., A Case Study of Graduate Admissions: Application of These Principles of Human Decision Making, *American Psychologist*, 26, 2, 180—187 (1971).
18. Moskowitz H., Miller J., Information and Decision Systems for Production Planning, *Management Science*, 22, 3, 359—370 (November 1975). См. также [29] в гл. 16.
19. См. п. 16, с. 659—660.
20. Levine M., Samet M., Brahlek R. E., Information Seeking with Limitations on Available Information and Resources, *Human Factors*, 17, 5, 502—513 (October 1975).
21. Winkler R. L., The Consensus of Subjective Probability Distributions, *Management Science*, 15, 2, B-61 — B-75 (October 1968).

22. Speltzler C. S., Holstein C.-A. S. S., Probability Encoding in Decision Analysis, *Management Science*, **22**, 3, 340—358 (November 1975).
23. Churchman C. W., The X of X, Challenge to Reason, McGraw-Hill, New York, 1968, ch. 8, p. 116.
24. Churchman C. W., The Design of Inquiring Systems, Basic Books, New York, 1971, p. 239.
25. Ulrich W., The Design of Problem-Solving Systems, *Management Science*, **23**, 10, 1099—1108 (June 1977).
26. Mitroff I. I., Turoff M., The Whys Behind the Hows, *IEEE Spectrum*, **10**, 3, 63 (March 1973).
27. Mitroff I. I., Sagasti F., Epistemology as General Systems Theory: An Approach to the Design of Complex-Decision Making Experiments, *Philosophy of the Social Sciences*, **3**, 117—134 (1973).
28. См. п. 26, с. 66.
29. Mason R. O., A Dialectical Approach to Strategic Planning, *Management Science*, **15**, 8, B-403 — B-414 (April 1969).
30. Singer E. A., Churchman C. W. (ed.), Experience and Reflection, University of Pennsylvania Press, Philadelphia, 1959.
31. Van Gigh J. P., Planning and Freedom, *Management Science*, **22**, 9, 949—961 (May 1976).
32. Pipino L. L., The Application of Fuzzy Sets to System Diagnosis and the Design of a Conceptual Diagnostic Procedure, University of Massachusetts, Amherst, Mass., Doctoral Dissertation, 1975.
33. Blackwelder R. E., Taxonomy, Wiley, New York, 1967.
34. Crowson R. A., Classification and Biology, Atherton Press, New York, 1970.
35. Simpson G. G., The Principles of Classification and A Classification of Mammals, *Bulletin of the American Museum of Natural History*, **85** (1945); Simpson G. G., Principles of Animal Taxonomy, Columbia University Press, New York, 1961.
36. См. п. 34, с. 19.
37. Там же, с. 21 и 94 соответственно.
38. Там же, с. 196.
39. Там же, с. 19.
40. Там же, с. 27—28.
41. Sokal R. R., Numerical Taxonomy, *Scientific American*, **215**, 6, 106—116 (December 1966); Sokal R. R., Sneath P. H. A., Principle of Numerical Taxonomy, Freeman, San Francisco, 1963.
42. Shepard R. N., The Analysis of Proximities: Multidimensional Scaling with an Unknown Distance Function, *Psychometrika*, **27**, 125—140, 219—264 (1962).
43. Kruskal J. B., Multidimensional Scaling: By Sptimizing Goodness of Fit to a Non-Metric Hypothesis, *Psychometrika*, **29**, 1—27 (1964); Kruskal J. B., Non-Metric Multidimensional Scaling: A Numerical Method, *Psychometrika*, **29**, 28—42 (1964).
44. Green P. E., Wind Y., Multiattribute Decisions in Marketing.
45. Green P. E., Carmone F. J., Wind Y., Subjective Evaluation Models and Conjoint Measurement, *Behavioral Science*, **17**, 3, 288—299 (May 1972).
46. См. например, п. 34.
47. Campbell N. R., Foundations of Science: The Philosophy of Theory and Experiment (formerly Physics: The Elements), Dover, New York, 1957, p. 267. См. также гл. 8 настоящей работы.
48. Более подробно об операциях, математических соотношениях и допустимом преобразовании для каждой из четырех шкал измерения см. в гл. 8.
49. Ledley R. S., Lusted L. B., Reasoning Foundations of Medical Diagnosis, *Science*, **130**, 9—22 (July 1959).
50. Ledley R. S., Lusted L. B., The Use of Electronic Computers to Aid in Medical Diagnosis, *Proceedings of IRE*, **47** 1970—1977 (November 1959).

51. Этот пример описан в работе Hare V. C., Jr., см. гл. 11; автор позаимствовал основную идею из работ Ledley R. S., Lusted L. B., Reasoning Foundations of Medical Diagnosis, *Science*, 130, 3366, 9—21 (July 3, 1959); Ledley R. S., Programming and Utilizing Digital Computers, McGraw-Hill, New York, 1962, p. 342.
52. Hare V. C., Jr., см. п. 51.
53. Winkler R. L., An Introduction to Bayesian Inference and Decision, Holt, Rinehart and Winston, New York, 1972, pp. 42—47.
54. Gorry G. A., A System for Computer-Aided Diagnosis Project MAC Report MAC-TR-44 (Thesis), MIT Press, Cambridge, Mass., 1967; Gorry G. A., Barnett G. O., Experiences with a Model of Sequential Diagnosis, *Computers and Biomedical Research*, 1, 490—507 (May 1968); Gorry G. A., Barnett G. O., Sequential Diagnosis by Computer, *Journal of American Medical Association*, 205, 849—854 (September 1968).
55. Gorry G. A., см. п. 54, с. 35.
56. См. п. 32, с. 21.
57. Gorry G. A., см. п. 54, с. 24—31.
58. Patrick E. A., Stelmack F. P., Shen L. Y. L., Review of Pattern Recognition in Medical Diagnosis and Consulting Relative to a New System Model, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, SMC-4, 1, 1—16 (January 1974).
59. Warner H. R. et al., A Mathematical Approach to Medical Diagnosis: Application to Congenital Heart Disease, *Journal of American Medical Association*, 177, 177—183 (July 1961); Warner H. R., Stauffer W. M., Some Techniques for Computer Assisted Diagnosis of Heart Disease, Proceedings on Automated-Data Processing in Hospitals, Elsinore, Denmark, April—May 1966, pp. 362—374; Lasker G. E., Application of Sequential Pattern Recognition Techniques to Medical Diagnostics, *International Journal of Bio-Medical Computing*, 173—186 (July 1970). Krischer J. P., Application of Sequential Methods in Pattern Recognition to Diagnosis, *Mathematical Biosciences*, 13, 33—45 (1972).
60. Conn H. F., Conn R. B. (eds.), Current Diagnosis, 3, Philadelphia, Saunders, 1971, p. 4.
61. Lusted L. B., Introduction to Medical Decision Making, Thomas, Springfield, Ill., 1968, p. 32. [Имеется перевод: Ластед Л. Б. Введение в проблему принятия решений в медицине. — М.: Мир, 1971.]
62. Ledley R. S., Problems in the Use of Computers in Medical Diagnosis, *Proceedings of the IEEE*, 57, 1906 (November 1969).
63. Вычисления и аргументация по поводу Test/No Test Decision Subsystem здесь не содержатся. Читателю рекомендуется обратиться к диссертации Пипино с тем, чтобы получить сведения по данным вопросам, связанным с системой диагностики, и более подробно изучить каждый шаг процедуры.
64. Halden W., Jr., Suchman E. A., Klein D., Accident Research: Methods and Approaches, Harper and Row, New York, 1964.
65. Russel B., On the Notion of Cause, with Application of the Free-Will Problem, in Feigl H., Brodbeck M. (eds.), Readings in the Philosophy of Science, Appleton, New York, 1953.
66. The Open University, Systems Performance: Human Factors and Systems Failures, Open University Press, Milton Keynes, England, 1976, p. 16; Bignell V., Peters G., Pym C., Catastrophic Failures, Open University, Milton Keynes, Eng., 1977.

#### Введение

Функционирующей системой необходимо управлять, т. е. регулировать ее работу таким образом, чтобы параметры системы приближались к намеченным. Физические системы по природе своей таковы, что их можно изучать в стационарных, установившихся условиях. При рассмотрении же человеческих организаций и социальных систем такой подход неприемлем. В этом случае мы стремимся достигнуть конечную цель и ищем возможность саморегулирования системы, что зависит от характеристик компонентов системы и их взаимосвязей [1].

В данной главе объясняются значение информации в достижении упорядоченности, важность обратных связей и роль управления в обеспечении устойчивости системы, причем именно с этой целью выделяется ряд функций, выполняемых управлением. Основной цикл управления и распределение выделенных функций управления весьма полезны при обсуждении ряда характеристик системы, важных для эффективного управления ею. Изучение Биром физиологии мозга прояснило требования, предъявляемые к управлению в организационных системах. Функции процесса обработки информации, модели которых учитывают как средства человеческого взаимодействия, так и производственный процесс, помогают объяснить роль личности в управлении физическими и психологическими характеристиками системы. Эти функции также позволяют обосновать выбор максимально допустимых требований к участникам производственного процесса и распределить эти требования на протяжении рабочего дня.

#### Разнообразие, информация, организация и управление

«Связь — это управление» — вот идея Винера, отца кибернетики, или «науки об управлении» [2]. Винер осуществил математическую разработку теории, которая показала, что управление в системе зависит от имеющейся информации,

Замкнутые системы при своем функционировании стремятся к состоянию равновесия, в котором энтропия максимальна. В открытых системах эта тенденция может быть устранена путем придания системе «негэнтропии», или информации. Таким образом, в данном случае система переводится в состояния, которые характеризуются большей степенью организации и сложности.

Для понимания того, каким именно образом информация играет основную роль в процессе регулирования системы, необходимо иметь правильное представление о фундаментальной связи понятия информации с понятиями *энтропии, разнообразия и ограничения*.

### 1. Дуальность энтропия — информация

Винер выразил дуальность энтропия — информация следующим образом:

«Как количество информации в системе есть мера организованности системы, точно так же энтропия есть мера дезорганизованности системы; одно равно другому, взятому с обратным знаком» [3].

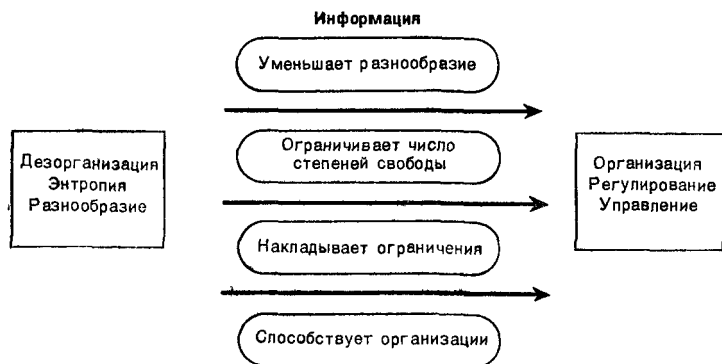


Рис. 18.1. Информация противодействует тенденциям системы к дезорганизации и возрастанию энтропии.

Таким образом, мы связываем энтропию с дезорганизацией, а информацию с организацией. Двойственность понятий энтропии, неупорядоченности, неопределенности, с одной стороны, и информации, организации, управления, с другой, была проиллюстрирована на рис. 2.2 (см. также рис. 18.1).

### 2. Разнообразие

Разнообразие можно определить как количество различных возможностей или элементов в некотором их множестве. Очевидно, чем больше разнообразие, тем шире выбор возможностей

и тем меньше вероятность выбора каждой из них. Энтропия, неопределенность и дезорганизация увеличиваются с ростом разнообразия, но с увеличением степени организации разнообразие уменьшается.

### 3. Ограничения

«Мир без ограничений был бы всеобщим хаосом». Хаос и «обилие разнообразия» [4] уменьшаются организацией, или наложением ограничений.

### 4. Информация

Для наложения ограничений на систему мы используем информацию, которая противодействует тенденциям системы к увеличению энтропии, или дезорганизации. Использование информации выполняет «избирательную функцию» [5] среди допустимых вариантов системы путем уменьшения числа ее степеней свободы. Как показано на рис. 18.1, информация противодействует тенденциям системы к дезорганизации и увеличению энтропии и, таким образом, способствует регулированию и управлению путем 1) наложения ограничений; 2) уменьшения разнообразия; 3) ограничения числа степеней свободы системы; 4) увеличения степени организации.

В данном случае информацию следует рассматривать в абстрактной логической форме, как это принято в теории информации и в математической теории связи (см. ниже). Понятие информации здесь не должно смешиваться со смысловыми и содержательными интерпретациями этого слова, которые возможны, если рассматривать его с точки зрения семантики языка или речи. Итак, можно сказать, что степень организации, управления и регулирования определяется наличием информации, обеспечивающей ограничение свойственных системе тенденций к росту разнообразия или хотя бы целенаправленное воздействие на эти тенденции.

## Теория информации и количество информации <sup>1)</sup>

Информация состоит из сообщений, а сообщения — из сигналов. Всегда существует распределение вероятностей на множестве сигналов, которое можно использовать для передачи сообщений. Каждый сигнал может содержаться в сообщении с

<sup>1)</sup> Van Gigch J. P., A Model for Measuring the Information Processing Rates and Mental Load of Complex Activities, *Journal of Canadian Operational Research Society*, 8, 2 (1970). (Используется с разрешения)

определенной вероятностью, которая зависит от структуры используемого языка. Определим необходимые понятия для  $i$ -го сигнала с вероятностью быть переданным  $p_i$ .

1. Количество информации в  $i$ -м сигнале равно

$$H_i = -\log_2 p_i, \text{ бит.}$$

Здесь  $H_i$  представляет собой меру неопределенности того, что передается  $i$ -й сигнал.

2. «Ожидаемое» количество информации в сообщении выражается следующим образом:

$$H = -\sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i, \text{ бнт.}$$

Данная мера есть сумма, каждое слагаемое которой является произведением количества информации, содержащейся в сигнале, и вероятности присутствия последнего в сообщении. Так как каждый сигнал взвешен, исходя из вероятности его присутствия в сообщении, то в результате получаем «ожидаемую», или среднюю, меру неопределенности сообщения в целом.

Приведенные выше определения были даны с использованием понятий «сообщение» и составляющих его «сигналов». Эти определения легко можно расширить на случай источника в целом и составляющих его сообщений. В этом случае распределение вероятностей определено на множестве сообщений. Таким образом, можно определить количество информации в каждом сообщении и ожидаемое количество информации, передаваемое источником сообщений.

В ответ на поступающие внешние воздействия канал связи должен выработать отклик — один из многих возможных вариантов откликов, каждый из которых соответствует заранее установленным целям системы, хранимым в ее памяти. Система действует как регулятор, выбирая из множества возможных выходных сигналов тот, который наилучшим образом совместим с целью системы.

Рассмотрим гипотетический случай, когда имеется восемь возможных вариантов. Начнем процесс выбора того единственного варианта, который соответствует цели системы, с разделения множества, содержащего восемь вариантов, на два непересекающихся множества по четыре варианта в каждом (рис. 18.2). Это уменьшает меру неопределенности ситуации с величины  $H_4$  до величины  $H_3$ , т. е. на 1 бит:

$$H_4 = -\log_2 1/8 = 3 \text{ бит,}$$

$$H_3 = -\log_2 1/4 = 2 \text{ бит.}$$



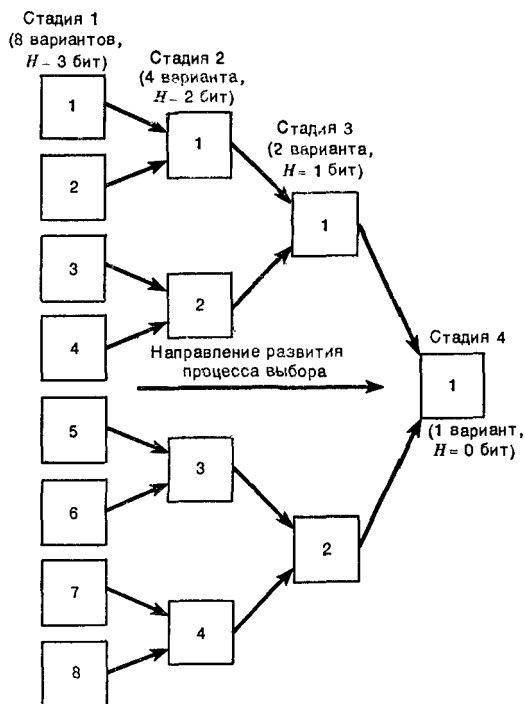


Рис. 18.2. Уменьшение неопределенности путем последовательного принятия решений по выбору варианта. Рисунок заимствован из работы Nadler G., *Work Design* (rev. ed.), p. 371, 1970. (С разрешения R. D. Irwin Inc., Homewood, Ill.)

Продолжим процесс выбора, переходя от множества, содержащего четыре варианта, к множеству, содержащему два варианта. При этом мера неопределенности ситуации уменьшается с величины  $H_3$  до величины  $H_2$ :

$$H_2 = -\log_2 1/2 = 1 \text{ бит.}$$

Процесс выбора окончится и будет достигнута полная определенность, когда будет сделан выбор между двумя оставшимися вариантами.

Итак, в результате реализации процесса выбора осуществлен переход от ситуации, в которой возможны восемь вариантов, к ситуации с единственным возможным вариантом, т. е. к полной определенности. При этом мера неопределенности была уменьшена на 3 бит, иначе говоря, было получено 3 бит информации.

В подобном случае сообщение, несущее 3 бит информации, уменьшило бы число степеней свободы до нуля. «Ожидаемое» количество информации в сообщении или «ожидаемое» количество информации, передаваемое источником, есть сумма, для

каждого слагаемого которой энтропия соответствующего случайного события «взвешивается» его вероятностью, так что

$$H = - \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i = - \sum_{i=1}^8 1/8 \log_2 1/8 = - 8 \cdot 1/8 \log_2 1/8 = 3 \text{ бит.}$$

Здесь величина  $H$  характеризует степень неопределенности, степень «разнообразия», или количество энтропии, имеющееся в рассматриваемой ситуации выбора одного из восьми вариантов. Величину  $H$  можно интерпретировать и как количество информации, которое требуется для устранения начальной неопределенности, т. е. для выбора единственно верного в данной ситуации варианта.

## Обратные связи

Любая система, будь то организм, техническая конструкция, социальный объект, может входить в систему более общей природы — экологическую систему. Общие принципы управления можно познать, исследуя поведение экосистем. По мнению Холинга и Голдберга, экосистемы имеют следующие характерные свойства:

- 1) наличие обратных связей;
- 2) содержат «предысторию», так как эти системы реагируют не только на текущие, но и на прошлые события. В отличие от технических систем, которые создаются на основе уже существующих неизменяемых частей, экосистемы развиваются во времени. Происходящие при этом эволюционные изменения и приводят к зависимости настоящего экосистемы от ее прошлого;

- 3) нелинейности, возникающие из-за различного рода запаздываний, порогов, ограничений. Поведение систем определяется их ... свойствами [6].

Живые системы являются динамическими системами, т. е. они изменяются с течением времени. В этих системах могут присутствовать два типа обратной связи — отрицательная и положительная. При отрицательной обратной связи часть выходного сигнала подается на вход системы так, что отношение полученного выходного сигнала к входному сигналу составляет величину, меньшую единицы. Таким образом, *отрицательная обратная связь уменьшает* величину выходного сигнала при увеличении сигнала на входе, т. е. является механизмом автокоррекции системы.

При *положительной обратной связи* отношение выходного сигнала к входному есть величина, большая единицы. Увеличение выходного сигнала приводит к увеличению сигнала на входе

системы, а это в свою очередь вызывает дальнейшее возрастание выходного сигнала. Если не будет принято никаких мер, сигнал на выходе может стать неуправляемым и привести к пагубным для системы последствиям. Очевидно, что действие положительной обратной связи не может оставаться неконтролируемым сколь угодно долго, так как характерный для нее аддитивный эффект привел бы к выходу системы из строя. Существует мнение, что такие процессы, как «накопление знаний, увеличение населения, рост сложных процентов в финансовом деле, рост национального бюджета, распространение среди людей различных верований, модных воззрений, развитие общественных институтов и программ», интенсивно расширяются именно потому, что им свойственна положительная обратная связь [7]. Напишем отношение выходного сигнала к входному для системы без обратной связи:

$$K = \frac{O(t)}{I(t)}.$$

Здесь  $K$  обозначает передаточную функцию системы, т. е. тот процесс, в соответствии с которым из входного сигнала  $I(t)$  получается выходной сигнал  $O(t)$ <sup>1)</sup>.

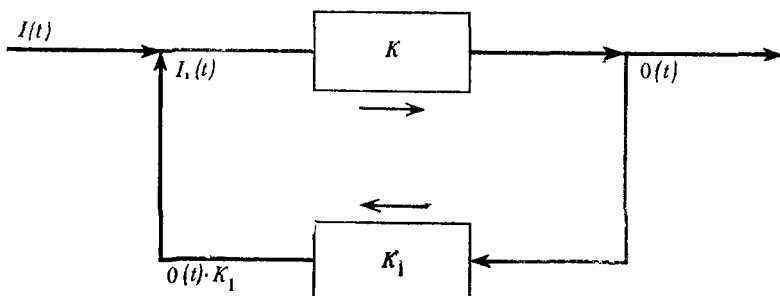


Рис. 18.3. Контур обратной связи с передаточными функциями  $K$  и  $K_1$ .

При наличии обратной связи часть выходного сигнала подается обратно на вход системы (рис. 18.3). Передаточная функция  $K_1$  в контуре обратной связи и определяет эту часть выходного сигнала. Сигнал  $O(t) \cdot K_1$  вычитается из первоначального входного сигнала, так что величина нового входного сигнала определяется как

$$I_1(t) = I(t) - [O(t) \cdot K_1].$$

Будем считать, что такое вычитание осуществляется в любом случае, независимо от того, хотим мы получить положительную или отрицательную обратную связь.

<sup>1)</sup> Предполагается, что  $K > 0$ . — Прим. перев.

Получаемый в результате выходной сигнал равен

$$O(t) = I_1(t) \cdot K.$$

Тогда отношение выходного сигнала к входному можно записать следующим образом:

$$E = \frac{O(t)}{I(t)} = \frac{I_1(t) \cdot K}{I_1(t) + [O(t) \cdot K_1]} = \frac{K}{1 + [O(t) \cdot K_1]/I_1(t)}.$$

Подставив в это уравнение полученное выше выражение для  $O(t)$ , для случая обратной связи имеем

$$E = \frac{K}{1 + K \cdot K_1}.$$

Когда значение передаточной функции  $K_1 < 0$ , знаменатель  $(1 + K \cdot K_1) < 1,0$  и *эффективная* передаточная функция  $E > K$ . Таким образом, обратная связь является *положительной*. Если же значение передаточной функции  $K_1 > 0$ , знаменатель  $(1 + K \cdot K_1) > 1,0$ ,  $E < K$  и обратная связь *отрицательная*.

Итак, именно природа (знак, фаза) передаточной функции  $K_1$  определяет тип обратной связи, а не то, добавляется возвращаемая на вход часть выходного сигнала к входному сигналу или же вычитается из него. Важно отметить, что в том случае, когда величина  $K$  много больше величины  $K_1$  [и много больше единицы. — *Перев.*], эффективная передаточная функция  $E$  становится равной

$$E = \frac{1}{K_1}.$$

В сущности функционирование системы в целом зависит в основном от передаточной функции в контуре обратной связи, а не от результата работы предыдущего контура [выходным сигналом которого является сигнал  $I(t)$ . — *Перев.*]. Практически это означает, что независимо от усиления в предыдущем контуре, желаемая степень управления может быть достигнута за счет надлежащего выбора величины  $K_1$  в цепи обратной связи. Система, таким образом, является нечувствительной к внешним возмущениям; управлять же системой можно, вводя отрицательную обратную связь [8].

Сатерленд, однако, предупредил об «ограниченности обратной связи как формы управления» и о сомнительности «ее познавательной ценности»:

Согласно Берталанфи, поведение систем, развитие которых характеризуется эквифинальностью, внутренними изменениями или влиянием изменений окружающей среды, не могло быть объяснено с позиции бихевиоризма как кибернетического направления [9].

## Запаздывания и задержки

*Временные запаздывания* отличаются от *временных задержек*. Первые «отфильтровывают», или как бы смягчают, воздействие на систему внешних изменений без прекращения ее функционирования, тогда как вторые смещают во времени момент проявления изменений. Временные запаздывания связаны с тем временем, которое требуется системе для полного отражения влияния внешних сил. Временные задержки характеризуются временем, требуемым для проявления какой-либо реакции системы вообще. В первом случае система реагирует медленно, однако изменения в ней начинаются сразу же по получении внешнего импульса. Во втором случае задерживается само начало проявления реакции системы на внешние изменения; если система реагирует на указанные изменения, то это происходит «сразу и полностью» [10]. Запаздывания могут и не быть столь нежелательными, как задержки. В системе с обратными связями наличие задержек может вести к потере устойчивости, что в свою очередь может явиться причиной неуправляемости системы. Подобные результаты наблюдались в динамических моделях Форрестера (см. гл. 11), когда в различные системы были введены задержки с целью показать, как именно они могут вызывать серьезные проблемы [11]. Напомним читателю о том, что случается с мелким торговцем, дающим заказы промышленнику при наличии высокого спроса и малого наличного капитала. Капитал, вложенный в заказы, вернется к торговцу много позже [в виде товаров.— *Перев*], когда волна спроса спадет. Торговец окажется «затоваренным». На передачу заказов от мелкого торговца оптовому и от оптового торговца промышленнику требуется время. В том случае, когда повышается спрос на товары, мелкий торговец реагирует на это с осторожностью. Его заказы оптовику и производителю не растут в той же пропорции, что спрос. Процесс увеличения объема заказов медленно подстраивается к процессу увеличения торгового товарооборота. Когда же запаздывания и задержки действуют одновременно, и притом на нескольких уровнях системы, их действие складывается и ведет к серьезным последствиям, в частности к потере устойчивости. Особенно заметен данный эффект в случае системы с несколькими обратными связями, что типично для всех живых и многих искусственных систем.

На рис. 18.4 показаны типы реакции системы на элементарное входное воздействие. При моделировании системы запаздывание может быть представлено функцией, отличной по форме от входного импульса, но действие которой начинается в то же самое время. Задержка же представляется функцией, совпадающей по форме с входным воздействием, но сдвинутой по

оси времени в сторону больших времен. Форрестер говорит об обратной связи первого порядка тогда, когда управление касается лишь одноуровневой переменной, или одного решения, например объема товаров. Обратная связь второго порядка связана с наличием в системе двухуровневой переменной, такой, как

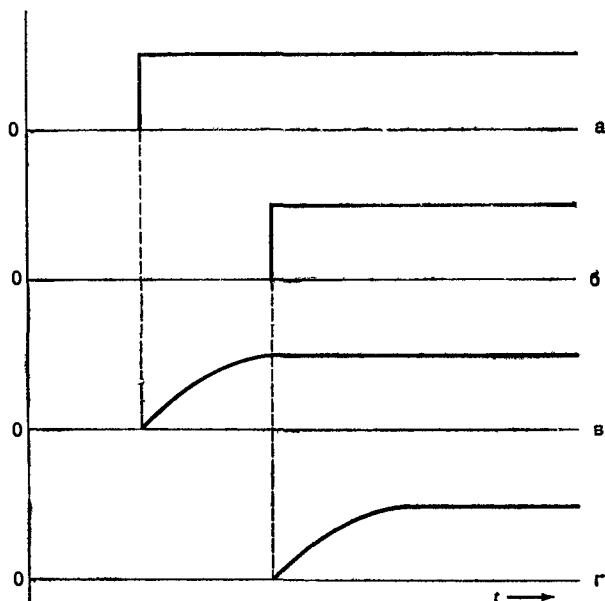


Рис. 18.4. Различная реакция системы на входное воздействие.

*a*—входное воздействие, *б*—временная задержка, *в*—временное запаздывание, *г*—временная задержка и временное запаздывание.

задержка между временем заказа товаров и временем их поступления на склад. Введение в модель задержки между заказом товаров и их реализацией вызывает колебания и эффекты обратной связи второго порядка.

## Гомеокинетическое плато

Для обозначения состояния динамического равновесия системы биологи используют термин «гомеостаз». Гомеостаз — это «набор взаимосвязанных правил поведения органической системы для поддержания ее в устойчивом состоянии» [12]. Постоянства устойчивого состояния можно достичь, если использовать отрицательную обратную связь, действие которой удерживает систему внутри области устойчивости. Термин «гомеостаз» был введен Кенноном при описании процесса

биологического саморегулирования функций в организме [12]. Однако в отличие от вечного двигателя человек, как и все живые системы, со временем изменяется и в конце концов умирает. Следовательно, строго говоря, живые системы находятся в состоянии неравновесия — в состоянии развития, — которое получило название «гомеокинез» [13]. С позиций гомеокинеза можно объяснить тот факт, что живые системы постепенно вырождаются и умирают. Для каждой системы существует устойчивое состояние динамического равновесия, к которому она стремится, но никогда не может достичь [14]. Процесс ввода энергии в систему и

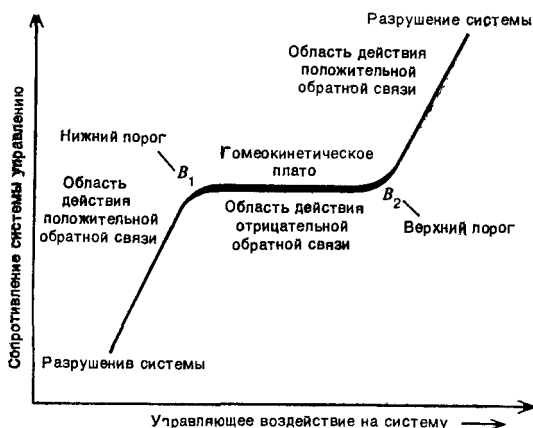


Рис. 18.5 К назначению функции управления — удержание системы на гомеокинетическом плато (см. также рис. 19.6).

процесс обработки информации имеют своей целью остановить тенденцию перехода системы в состояние с большей энтропией. Эти процессы можно рассматривать как попытки системы достичь состояния равновесия и сохранить его, т. е. пребывать в пределах «гомеокинетического плато» (рис. 18.5). Данный термин возник в связи с введением Хардином термина «гомеостатическое плато» [15]. Это плато можно рассматривать как область неустойчивого состояния системы (схожего с гомеостазом), находясь в которой органическая система стремится к саморегулированию. Данное состояние может проявиться у человека в тот сравнительно непродолжительный период, когда все его жизненные функции достигли своей максимальной силы, а процесс регресса еще не начался. Биологи и физиологи установили, что после 25 лет функции человека уже не могут прогрессировать и человек остается в пределах гомеокинетического плато лишь в течение еще немногих лет. С каждой стороны от гомеокинетического плато расположены области положительной

обратной связи, находясь в которых система приближается к границе области своего существования вообще. Управление может быть, таким образом, определено как внутренние функции системы, направленные на то, чтобы удерживать ее на гомеокинетическом плато в течение максимально возможного времени. В экосистемах, как и во всех иных системах, на которые человек пытается влиять, понятие управления может быть расширено. Такое расширение полезно для учета влияния тех операций процесса проектирования системы, реализация которых удерживает систему на гомеокинетическом плато, где достигается временное состояние равновесия. Для данного равновесия характерно существование отрицательной результирующей обратной связи, т. е. здесь отрицательная обратная связь сильнее положительной и, таким образом, колебания в системе затухают. Вне области между двумя границами — нижней и верхней — положительная обратная связь сильнее отрицательной и результирующая обратная связь положительна, что ведет к неустойчивости и возможному разрушению системы (см. рис. 18.5).

## Устойчивость и живучесть

Поскольку социальные системы и организации ближе по поведению к экосистемам, чем к физическим или механическим системам, важно указать условия, при которых в них существует равновесие. Как было отмечено, область устойчивости находится между нижним и верхним *порогами*, т. е. включает в себя гомеокинетическое плато. Положение границ этой области меняется с эволюцией системы, любое действие по изменению системы влияет на положение и размеры области устойчивости. В результате становится почти невозможно определить положение этих границ и, следовательно, быть уверенным, что система все еще находится в области устойчивости. Экологи настойчиво подчеркивают, что при работе со сложными системами именно экология дает правильную перспективу и очерчивает основные рамки допустимого вмешательства человека: «Основной акцент переносится с максимизации вероятности успеха на минимизацию вероятности неудачи». Говоря другими словами, находясь вблизи состояния равновесия, следует вместо уделения основного внимания «усилиям, которые ведут к достижению состояния равновесия», лишь стараться исключить возможность «выхода за границы» определенной области, охватывающей это состояние [16], т. е. поддерживать систему в области устойчивости.

Способность системы оставаться в области устойчивости называют «живучестью» системы. Адаптивными являются системы,



которые «изменяют свое поведение таким образом, чтобы оставаться в области устойчивости даже при наличии внешних воздействий» [16]. Укажем ряд факторов, которые следует учитывать, производя изменения в сложных системах.

1. Принципиальную взаимосвязь между природой самой системы и природой пагубных для нее влияний и часто весьма тонкий их баланс.

2. «Пространственную» и «временную» памяти системы, которые увеличивают риск вызвать непредвиденные последствия в пространстве и во времени (часто весьма отдаленные от места и времени производимых изменений).

3. Непостоянный характер границ области устойчивости системы, что лишает нас возможности точного предсказания последствий воздействия внешних изменений на область устойчивости и на живучесть системы.

4. Совет, даваемый экологией и рекомендующий проектировщикам систем «стремиться в первую очередь к избежанию неудачи, а не к достижению успеха». Прежде всего следует стараться получить объективную уверенность в том, что «неожиданные и пагубные последствия минимизированы», а не «восторгаться возможными успехами своего проекта. ... Это смещает наши интересы от увеличения эффективности к достижению живучести системы» [17].

## Управление в экономических и социальных системах

### Оптимальное дозирование управляющих воздействий

Независимо от того, кто должен нести ответственность за перебои в обеспечении энергией в США несколько лет назад и за возможные подобные ситуации в будущем, это именно те явления, которых мы должны и можем при надлежащих усилиях избежать. Существуют две крайности: политика невмешательства, которая исходит из того, что при нормальных условиях на рынке сам собой достигается баланс спроса и предложения, и политика замораживания цен и заработной платы, ведущая к различного рода дефициту и увеличению инфляции из-за искусственного вмешательства в социально-экономическую систему. Мы же должны найти средний курс, который поддерживал бы экономику в разумных рамках. Поэтому мы обращаемся к такому универсальному средству, как *управление*, посредством которого система удерживается от попадания в неустойчивое состояние, гасятся колебания в системе и вообще устраняются нежелательные эффекты.

Почему управление должно быть общечеловеческой деятельностью? Многие уверяют, что именно человек вносит

беспорядок в упорядоченный изначально мир и что если бы не вмешательство человека, все системы находились бы в гомеокINETическом равновесии. Данный тезис схож с мнением о том, что экономика может правильно развиваться сама по себе, без постороннего воздействия. Согласно данной точке зрения, невмешательство приведет естественным путем к равновесию между предложением и спросом, между производителями и потребителями; все произведенное будет потреблено без нехватки или излишков. К сожалению, экономическая система [имеется в виду экономическая система США — *Перев.*] не функционирует по законам абстрактной системы конкурентной экономики; по этой же причине никакая искусственно созданная система не является полностью саморегулирующейся. Правительство должно выбирать определенную финансовую политику для достижения тонкого баланса между а) силами, которые толкают систему к росту инфляции (здесь действует положительная обратная связь: оптимизм способствует росту потребления, что в свою очередь вызывает увеличение выпуска бумажных денег, поступающих в обращение, и инфляции) и б) силами, которые ведут к застою и депрессии. Спад деловой активности приводит к сокращению производства, росту безработицы, уменьшению личных доходов, уменьшению потребления. Дефляционная спираль действует как положительная обратная связь, ухудшающая и без того бедственное положение.

Очевидно, что экономика является кибернетической системой, т. е. системой с обратными связями. Путем надлежащего выбора обратной связи система может быть переведена в состояние устойчивого равновесия, в котором инфляция и безработица поддерживаются хотя бы на разумном уровне. Быть может, и нереальна вера в возможность полного устранения инфляции и безработицы при существующих сложностях и взаимосвязях между всеми системами — экономическими, политическими, социальными и т. д. Первый шаг состоит в достижении пусть неустойчивого, но хотя бы приемлемого баланса между действующими на экономику силами. Одна из таких сил зарождается в среде избирателей и может способствовать перестройке системы при возникновении «неприемлемой» ситуации. Вотум недоверия выводит систему из области равновесия и толкает ее к гибели. Мы создали институты, с помощью которых равновесие сохраняется и при смене правительства, политика которого не пользуется поддержкой избирателей. В одних системах выборы проводятся через определенный промежуток времени, а в других — по мере необходимости.

Мы можем упомянуть и о многих иных примерах кибернетических систем, в которых положительная обратная связь отражает наличие дестабилизирующих условий. Так, раковое

заболевание есть не что иное, как процесс роста, при котором количество больных клеток организма лавинообразно и неуправляемо растет. При нормальных условиях подобный процесс сдерживается естественными функциями организма человека. Однако, если перейден некоторый порог, начинается процесс, характеризующийся действием положительной обратной связи, когда больные клетки подавляют здоровые. Обратимся к примеру из другой области. История народов полна событий, приведших к войнам. Однако причиной, вызвавшей, например, первую мировую войну, явилось, конечно, не убийство австро-венгерского престолонаследника эрцгерцога Франца Фердинанда в Сараево 28 июня 1914 г. Данное событие было лишь «последней каплей, переполнившей чашу». Ситуация для начала войны уже созрела. Мир находился на грани между состояниями равновесия и нестабильности. Конкретное событие лишь подтолкнуло уже подготовленную систему к выходу в область с положительной обратной связью, где какое-либо управление ею отсутствовало.

С понятием гомеокинетического плато в контексте социальных систем тесно связана идея о том, что для каждой системы существует *оптимальное дозирование управляющих воздействий*. Именно с помощью такого дозирования система удерживается в области устойчивости. Недостаточное либо чрезмерное управление может вывести систему из этой области в нестабильное состояние. В случае недостаточного управления мы находимся в области положительной обратной связи, ведущей к полному разрушению системы. Введение же в систему чрезмерных управляющих воздействий подавляет инициативу. В контексте экономических систем управление следует отождествлять с поддержанием экономики в приемлемых рамках. Учитывая неизбежность наличия колебаний в цикле деловой деятельности, планирующие органы должны использовать все средства по уменьшению колебаний и по управлению ими. Эту функцию выполняет в США Консультативный совет по экономическим вопросам, в состав которого входит и глава Федеральной резервной системы. Члены совета держат в своих руках бразды правления в финансовой области и тем самым имеют возможность контролировать колебания экономики. В экономику необходимо ввести (в определенной степени) управляющие воздействия. Это благоприятно скажется на организованности рынков сбыта, будет стимулировать конкурентную борьбу, в ходе которой монополии имеют тенденцию формировать и поддерживать рыночную систему в тех случаях, когда это для нее жизненно важно. Следует избегать и иной крайности — введения чрезмерного управления в систему (перерегулирования), так как это довольно быстро сведет на нет всю систему частного предпри-

нимательства. Как указывает Хардин: «Мы можем оставаться свободными лишь в том случае, если согласны на некоторые потери» [18]. Таким образом, устранение всех потерь как средство улучшения системы является дорогостоящим капризом.

Управление может быть также определено как регулирующая деятельность, направленная на удержание системы в области устойчивого равновесия, т. е. между порогами  $B_1$  и  $B_2$  на рис. 18.5. Недостаточное управление выведет систему в положение левее порога  $B_1$ , а чрезмерное — правее  $B_2$ . С точки зрения, обоснованной в начале данной главы, нет ничего объективно противоречащего сознательным действиям по планированию и управлению как средству удержания системы в устойчивом состоянии и как средству ликвидации в ней колебаний. Условия этого или требуемое для этого управление определяются на основе закона необходимого разнообразия, к рассмотрению которого мы и переходим.

## Закон необходимого разнообразия

Требуемый уровень управления включен в закон необходимого разнообразия Эшби [4], который основан на математической теории связи Шеннона [19]. Данный закон постулирует необходимость соответствия возможностей индивидуума или управляющего органа по обработке информации и той информации, которая предоставляется ему системой для вырабатывания управляющих воздействий.

Закон необходимого разнообразия утверждает, что для управления системой управляющий орган должен быть способным к восприятию по крайней мере того же количества различных сигналов, какое может появиться на выходе управляемой им системы [20].

В любой ситуации, участниками которой являются управляющий орган и управляемая им система, индивидуум имеет в своей памяти набор возможных действий, ответных на действия системы. Сложность системы может быть оценена по количеству различных состояний, в которых она может находиться. О сложности можно судить по числу комбинаций переменных (или свойств), определяющих процесс. Таким образом, если процесс зависит от значения единственной переменной, сложность определяется лишь количеством значений, принимаемых этой переменной. По мере увеличения числа переменных — параметров системы — растет и сложность самой системы. Управление в том смысле, в котором этот термин используется в данной главе, предполагает наличие возможности учесть все разнообразие состояний системы. Конечная цель при этом состоит в выборе подходящего набора параметров системы для ее

количественного описания. Управляющий орган должен подобрать надлежащую реакцию на каждый сигнал, получаемый им от системы.

Для достижения возможности полного управления системой управляющий орган должен обладать тремя качествами:

1. Иметь по крайней мере столько же различных возможных действий, как и управляемая система (альтернативой является более высокое быстродействие органа по сравнению с управляемой системой).
2. Иметь абсолютно точный набор принятых возможных действий, являющийся подмножеством множества всех возможных ответов на действия системы (наилучший в каком-то смысле набор ответов).
3. Иметь возможность производить ответные действия (соответствующие им коды) со скоростью не ниже скорости работы управляемой системы [20].

## Основной цикл управления

Основной цикл управления является хорошей кибернетической моделью управления организационными системами. Изучение основных функций, реализуемых управлением, дает возможность правильно оценить роль этих функций в системе.

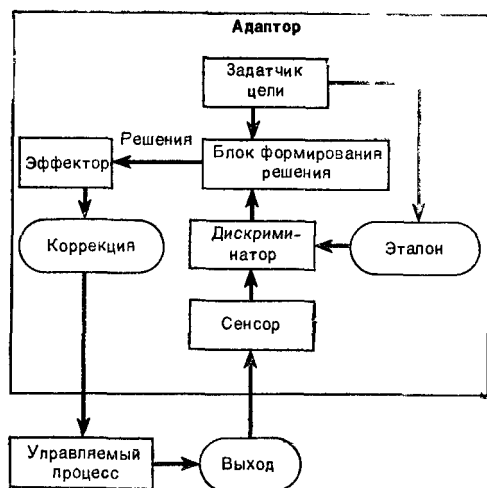


Рис. 18.6. Основной цикл управления [21]. (С разрешения автора и John Wiley and Sons, Inc., New York.)

На рис. 18.6 показан основной цикл управления процессом по получению некоторого конечного результата (выхода)<sup>1)</sup>. Сенсором в данном случае является механизм, который считывает значение контролируемой переменной. Блок управляющей системы, называемый задатчиком цели, задает стандарт — эта-

<sup>1)</sup> Материал заимствован из книги Litterer J. A., The Analysis of Organizations, Wiley and Sons, New York, 1965, ch. 13. (С разрешения автора и John Wiley and Sons, Inc.)

лон, с которым будет сравниваться полученный результат. Данное сравнение осуществляется блоком, называемым *дискриминатором* или *компаратором*. Различие между действительными и требуемыми значениями переменных передается в *блок формирования решения*, который определяет, какое именно действие должно быть выполнено *эффектором* [21].

Итак, базовая управляющая система включает

|                           |               |
|---------------------------|---------------|
| Управляемый процесс       | Сенсор        |
| Задатчик цели             | Дискриминатор |
| Блок формирования решения | Эффектор      |

Теперь мы можем применить понятие основного цикла управления к описанию функций управления в организационной области. В стандартной организации (см. рис. 18.6) балансовый отдел (дискриминатор) связан через свои входные каналы (сенсоры) с выходом (результатом работы) организации. Этот отдел сравнивает действительные результаты со стандартами, которые он получает от руководства организации (задатчика целей). Принятие решения по корректированию и выполнение такого решения является обязанностью руководителя среднего звена (блок формирования решения и эффектор). Корректирующее воздействие используется для надлежащей модификации в следующем цикле деятельности организации.

Понятие «входной анализатор» может быть использовано для объединения сенсора, который связан с внешней средой и воспринимает внешние условия, и идентификатора, т. е. сенсора, не только воспринимающего внешние условия, но и анализирующего их. Объединение сенсора, дискриминатора, задатчика цели, блока формирования решения и эффектора может быть названо управляющей системой или *адаптором*. Адаптор дает возможность подстроить управляемую деятельность к внутренним и внешним условиям «в целях поддержания желаемого или ожидаемого выходного результата» [22].

И еще один элемент может быть добавлен в цикл управления — это *проектировщик* системы. Он контролирует задатчик цели и блок формирования решения. Проектировщик организует работу системы в целом путем как постановки целей, так и определения правил ее внутреннего функционирования по выполнению решений [23].

## Примеры использования основного цикла управления

Основной цикл управления полезен при формализации и анализе следующих задач:

1. Определение меры ответственности и объема делегирования полномочий в процессе текущей работы.

2. Определение степени отчуждения на различных стадиях технологического процесса.

3. Определение эффектов централизации и децентрализации в принятии решений.

### Ответственность и делегирование полномочий

В соответствии с предложением Литерера мера ответственности и делегирования полномочий может быть определена в связи с распределением функций управления между членами организации [24]. Эффективность процесса управления зависит от того, каким образом обычные рабочие функции и функции управления распределены между различными подразделениями организации. Управление упрощается в том случае, когда только одному лицу (или агенту процесса) вверена и задача получения результата, и задача его проверки, и сравнение со стандартами, и модификация процесса на основании полученных результатов. В том же случае, когда различные функции управления распределены между разными подразделениями организации, деятельность этих подразделений нуждается в координации для обеспечения эффективного управления.

Литерер сравнивает распределение функций управления в двух конкретных системах: 1) в литейном цехе и 2) в службе леса США.

1. В литейном цехе каждый рабочий выполняет лишь одну форму работы. Начальник литейного цеха обязан наблюдать за ходом процесса и следить за соответствием качества работ стандарту. Таким образом, начальник литейного цеха выступает одновременно и в роли сенсора, и в роли дискриминатора, и в роли формирователя решения (рис. 18.7). Стандарты же качества работы могут, по-видимому, устанавливаться каким-то третьим участником процесса, контролирующим деятельность начальника литейного цеха.

2. В службе леса США функции управления распределены следующим образом (рис. 18.8).

Лесничему вверен определенный лесной участок, за которым необходимо следить, т. е. лесничий должен выполнять текущие рабочие функции и обеспечивать получение конечного результата.

Общественность и заинтересованные лица, такие, как общественные инспекторы и лесозаготовительные компании, сообщают свою оценку деятельности лесничих исполнительным органам службы леса, являются сенсорами.

Исполнительные органы службы леса получают жалобы или одобрительные отзывы общественности и принимают решение, исходя из возможностей, которыми они располагают, и с учетом

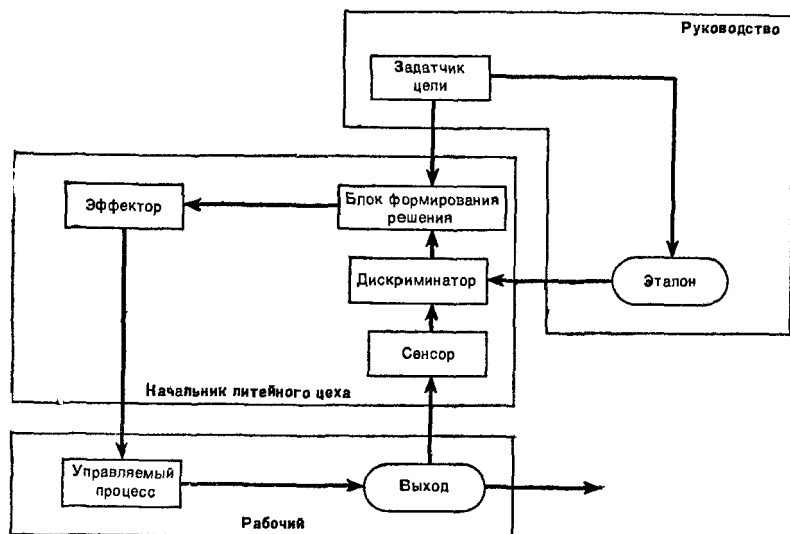


Рис. 187 Распределение функций между участниками процесса управления в литейном цехе [21]. (С разрешения автора и John Wiley and Sons, Inc., New York.)

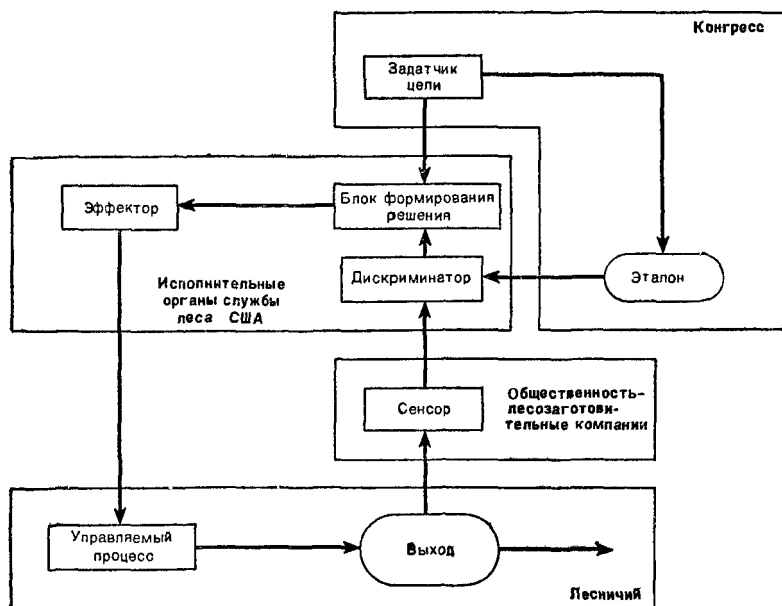


Рис. 188 Распределение функций между участниками процесса управления службы леса США [21]. (С разрешения авторов и John Wiley and Sons, Inc., New York.)



ограничений, накладываемых законом Исполнительные органы выступают как дискриминатор и формирова- тель решения.

Ряд организаций, в том числе и конгресс, устанавливает стандарты и ограничения на деятельность службы леса США. Ситуация, очевидно, усложняется из-за присутствия большого числа участников (агентов) процесса.

Эффективность деятельности службы леса зависит от того, могут ли различные люди — участники процесса — координировать свои действия, а также от распределения функций управления [25]. Данные примеры приводят к формулированию следующего принципа, применяемого к функциям управления:

Принцип 1. Эффективность выполнения функции управления зависит от степени координации ее компонентов. Достижение эффективности упрощается, когда все компоненты сходятся к одному агенту процесса, и усложняется, когда различные компоненты поступают к разным агентам.

### Отчужденне <sup>1)</sup>

Блаунер изучал «тенденции к отчуждению», которые испытывали рабочие в четырех различных производственных ситуациях, характеризовавшихся своим уровнем технологии и «автоматизации» [26].

«Технология имеет отношение к комплексу физических объектов и операций (как человеческих, так и машинных), регулярно используемых для производства товаров и услуг... Под технологией подразумевают и машинную систему, и уровень и тип механизации... и технические знания, и профессиональное мастерство рабочих».

Имеется четыре стадии развития технологии:

1. *Цеховая технология.* Ее примером может служить полиграфическая промышленность, характеризующаяся «сравнительно небольшим числом стандартов на продукцию. Уровень механизации низкий, большая часть работы делается вручную, а не с помощью машин».

2. *Машинно-ориентированная технология.* Этот вид технологии типичен для текстильной промышленности, которая «в гораздо большей степени [чем полиграфическая промышленность] механизирована и производственные процессы в которой более стандартизованы». В производственном процессе заняты рабочие, преимущественно женщины, каждая из которых управляет несколькими машинами в этом большом промышленном организме.

3. *Технология сборочного конвейера.* Данный тип технологии широко используется в автомобилестроительной и элект-

<sup>1)</sup> Материал заимствован из книги Blauner R, *Alienation and Freedom*, © 1964, University of Chicago Press, Chicago, Ill. (Используется с разрешения.)

ронной отраслях промышленности. Для него свойственны массовое производство и «высокорациональная организация работы» с поточными линиями и полуавтоматами.

4. *Непрерывный технологический процесс*, характеризующийся производством непрерывного типа. В качестве примера можно привести процесс очистки нефти, химическое производство, работу электростанции. Производственный процесс выполняется автоматически и контролируется с помощью дистанционного оборудования [27].

Блаунер измеряет отчуждение, испытываемое рабочими в этих четырех производственных ситуациях, по четырем параметрам:

1. **БЕССИЛИЕ**. «Личность бессильна, когда она является объектом, управляемым людьми или внешней системой». «Сила здесь отождествляется со свободой рабочего принимать решения, выбирать способы выполнения своей работы и пригодные для этого орудия труда».

2. **БЕССМЫСЛЕННОСТЬ**. «Личность ощущает отчуждение данного типа, когда с ее точки зрения собственные индивидуальные действия не имеют отношения к достижению более широких, жизненно важных целей». Смысл связывается с той мерой, в которой индивидуум ощущает, что его работа — это заметный вклад в общее дело.

3. **ИЗОЛЯЦИЯ**. «Этот параметр является результатом разрыва личных и общественных компонентов человеческого поведения и мотивации... Изоляция предполагает наличие всеобщего отчуждения, пребывание в обществе без ощущения себя его членом... Противоположно изоляции чувство принадлежности к обществу». Рабочий может чувствовать себя физически или психологически изолированным от своих коллег даже вследствие таких причин, как плохо оборудованное рабочее место или неудобно составленный график работ.

4. **САМООТЧУЖДЕНИЕ**. Этот фактор характерен для ситуаций, «когда трудовая деятельность становится самоцелью, а не средством достижения результата... Когда работа самоотчуждена, род занятий не способствует в положительном смысле проявлению индивидуальности, а напротив, пагубно влияет на чувство собственного достоинства» [28].

Основной цикл управления, описанный в предыдущем разделе, можно использовать для определения степени отчуждения на каждой из четырех стадий развития технологии, описанных Блаунером. По мере перехода от одной технологической стадии к другой распределение функций дает представление о восприятии участниками процесса условий их работы.

На первой стадии — цеховой технологии — рабочие сами выполняют все функции управления (рис. 18.9). Именно на

данной стадии рабочий сохраняет наибольшую «силу» и работа имеет наибольший «смысл». Индивидуумы не ощущают ни «изоляции», ни «самоотчуждения».

С переходом к массовому производству, характерному для следующих двух стадий технологии, рабочий начинает терять «силу» по отношению к своему окружению и работа теряет «смысл». «Изоляция» и «самоотчуждение» достигают максимума при работе на поточной линии. Не является неожиданностью, что дробление функций управления на третьей стадии оказывает

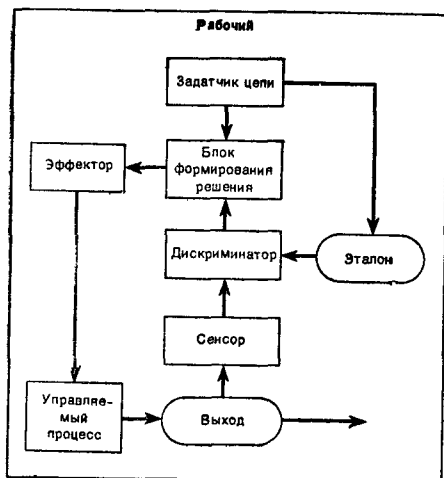


Рис. 18.9. Распределение производственных функций и функций управления в отрасли с цеховой технологией (рабочий выполняет все функции, степень самоотчуждения сравнительно мала).

наиболее отрицательное действие. Рабочий выполняет лишь производственную деятельность. Начальники цехов выступают в роли сенсоров. Инженеры и администраторы действуют как дискриминаторы и задатчики цели. Функция формирования решения распределена среди большого числа агентов (рис. 18.10).

Сложность технологии подавляет организацию, так что выявляются сложность и запутанность ее структуры [29]. На рабочих и начальников цехов воздействуют нежелательные каналы управления [30, 31.]

На четвертой стадии технологии, в отраслях с непрерывным производством, личность получает некоторую «силу» над окружением. Обычно здесь рабочий наделен правом выбора в применении оборудования и правом управления, что восстанавливает «смысл» его работы. Он получает самоудовлетворение. Рабочий может теперь выполнять функции сенсора, дискриминатора, блока формирования решения и эффектора, хотя и под наблюдением руководителя. В этом состоит заметное улучшение условий третьей стадии и, следовательно, степень самоотчуждения сокращается.

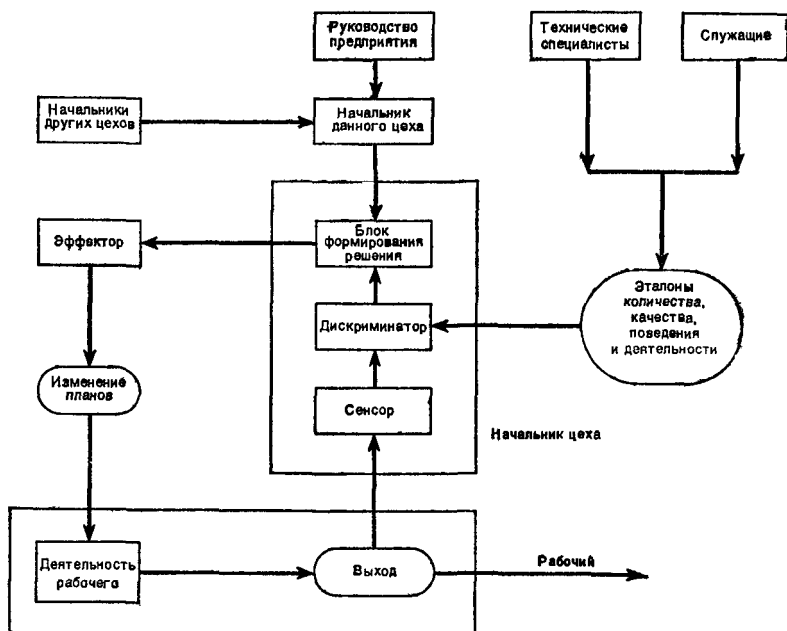


Рис. 18.10 Распределение производственных функций и функций управления в отрасли, где применяется технология сборочного конвейера (рабочий производит только конечный продукт, степень самоотчуждения сравнительно высока).

Концептуализация различий в производственных условиях, существующих на четырех стадиях технологии, проводимая с помощью надлежащего распределения функций управления, открывает новые перспективы для объяснения явления отчуждения в производственной деятельности. Все это дает нам возможность сформулировать следующие дополнительные принципы управления:

Принцип 2. Метод распределения производственных функций и функций управления имеет непосредственное отношение к психологическому аспекту.

Принцип 3. Чрезмерное дробление производственных функций и функций управления отрицательно влияет на вклад человека в деятельность организации в целом. Это также обезличивает деятельность по реализации функции принятия решения, снижает ответственность и может отрицательно повлиять на заинтересованность человека в своей работе.

### Централизация и децентрализация

Понятия, связанные с функциями управления, могут также использоваться для исследования централизации и децентрализации и для описания распределения управленческой деятель-

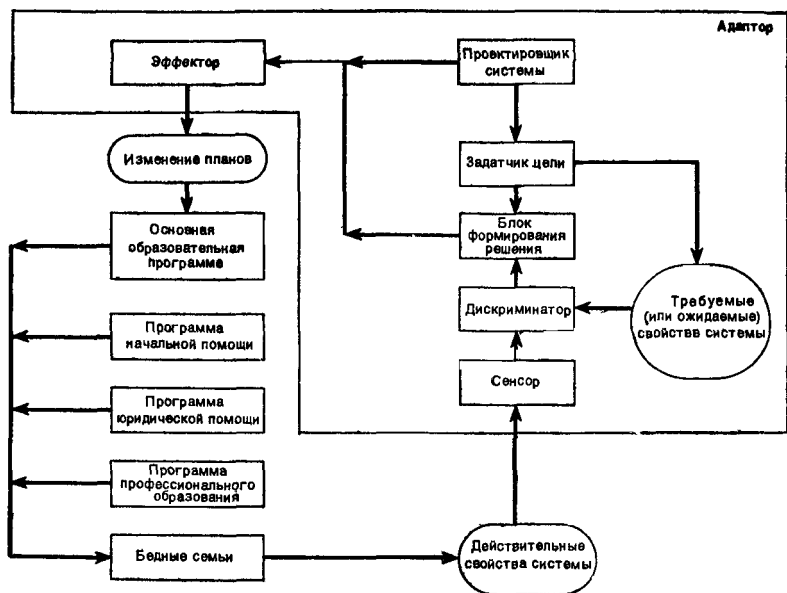


Рис. 18.11. Централизованное управление при проектировании системы реализации программы борьбы с бедностью.

ности между центрами управления. На рис. 18.11 показано, что все элементы программы по борьбе с бедностью, цели которых состоят в улучшении благосостояния бедных семей,— образование, оказание начальной помощи, юридическая помощь, профессиональное образование — управляются одним адаптором. Последний содержит все компоненты основного цикла управления: сенсор, дискриминатор, задатчик цели, блок формирования решения и эффектор. Данная схема описывает централизованное управление.

Рис. 18.12 иллюстрирует децентрализованный вариант той же программы, где каждый элемент программы имеет собственный адаптор [32]. В реальной жизни такая децентрализация благоприятствовала бы усилению значения управления на местах в противоположность предыдущему случаю, в котором главная роль отводится центральной управляющей организации. Степень централизации или децентрализации выбирается в зависимости от того, все или лишь некоторые функции управления переданы местным адапторам. Например, вполне жизнеспособны следующие возможные схемы:

1. Для каждого элемента общей программы имеются адапторы. Каждый адаптор получает информацию от своего сенсора.

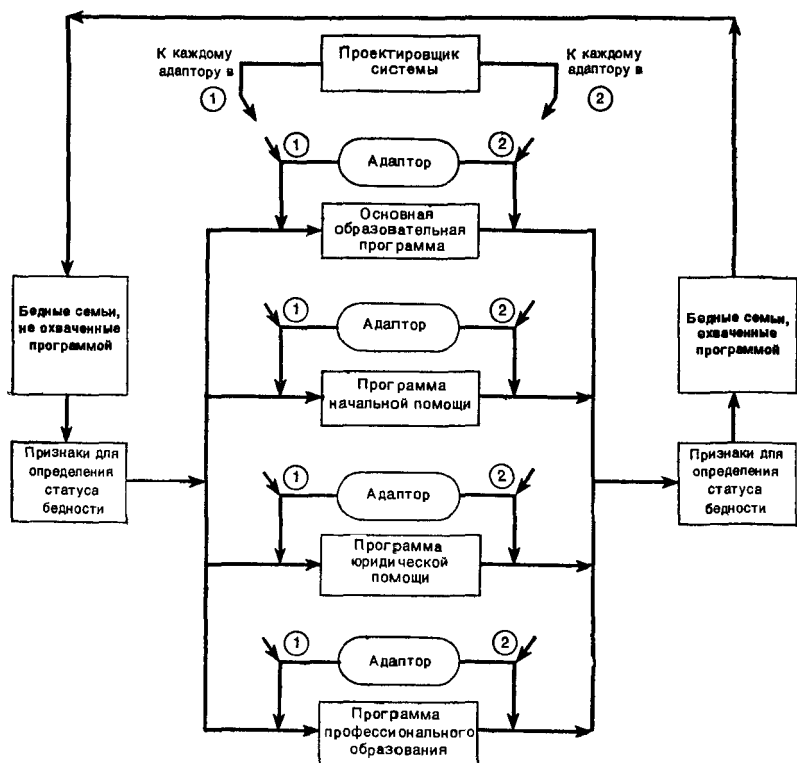


Рис. 18.12 Децентрализованное управление при проектировании системы реализации программы борьбы с бедностью [22]. (С разрешения Regents of the University of California, Los Angeles.)

Стандарты для измерения эффективности действия элементов программ назначаются задатчиками целей, своими для каждого элемента. Здесь нет центрального задатчика или центрального блока формирования решений.

2. Для каждого элемента программы предназначен свой адаптор, кроме того, имеются центральный сенсор и центральный задатчик целей. Они координируют получаемую от элементов общей программы информацию и оценивают ее, исходя из общих для всей программы стандартов. ЛПР по-прежнему можно считать локализованными в каждом адапторе.

Читатель может построить примеры и иной степени централизации путем комбинирования различных функций управления с целью наилучшего удовлетворения своих целей. Читатель

может даже поразмыслить о возможности введения «суперадаптора», управляющего адапторами подсистем. Данный вариант не столь уж и неестествен, так как отражает иерархию управления в современных организациях. Оценка иных эффектов от различной степени централизации и децентрализации более подробно обсуждалась в гл. 14.

### **Пример, связанный с материальным обеспечением службы здравоохранения<sup>1)</sup>**

Программа материального обеспечения службы здравоохранения представляет собой пример возможного достижения эффективного управления с обратной связью.

Система, обеспечивающая реализацию программ здравоохранения, включает следующие подсистемы: 1) пациенты; 2) лечащие врачи; 3) медицинские учреждения, частные или государственные, где пациенты проходят курс лечения. Мы будем различать клиники для амбулаторного лечения и больницы для стационарного лечения; 4) служба страхования, включающая местные, штатные и федеральные органы, а также частные страховые компании.

Сфокусируем внимание на сложной и противоречивой проблеме построения такой системы, в которой контролируется стоимость оказываемой медицинской помощи.

В существующей в США системе, где применяется метод оплаты, называемый «оплата за услугу», страховые компании дают по медицинской страховке возможность пациенту пользоваться в случае необходимости основными видами медицинских услуг. В то же время потенциальный пациент платит взносы по медицинской страховке независимо от того, нуждается он в медицинской помощи или нет. Фактически те, кто не пользуется медицинскими услугами, платят за тех, кто вынужден к ним прибегнуть, и, таким образом, расходы на лечение усредняются по большой группе людей.

Функционирование такой системы показано на рис. 18.13. Пациент получает медицинскую помощь либо обратившись за ней к врачу, либо находясь на излечении в больнице, либо ему оказывают оба вида медицинской помощи. По окончании лечения часть счетов оплачивается страховыми компаниями, часть — самим пациентом.

Данный метод организации службы здравоохранения имеет следующие недостатки:

---

<sup>1)</sup> Я весьма признателен группе студентов Калифорнийского университета (Сакраменто), особенно м-ру Д. Бару, идеи которых нашли отражение в данном разделе.

1. Обычно страховые компании дают возможность пользоваться весьма ограниченным и недостаточным перечнем услуг из числа услуг, рекомендуемых врачом. Следовательно, пациент несет расходы, значительно превышающие размер медицинской страховки.

2. Оплата по страховке амбулаторного лечения возможна в меньшей степени, чем стационарного. Следовательно, пациенты склонны либо воздерживаться от профилактики болезни или от ее лечения на ранней стадии, либо ложиться в больницу даже

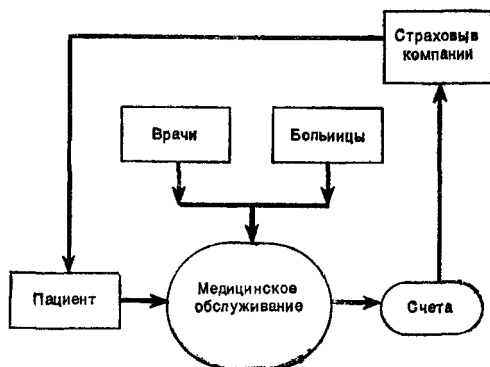


Рис. 18.13. Система «оплата за услугу» в здравоохранении.

при небольших недомоганиях в тех случаях, когда врач под давлением пациента все же рекомендует стационарное лечение. Такое положение увеличивает больничные расходы и загруженность больниц.

3. Врачи, так же как и больницы, не заинтересованы в уменьшении расходов на медицинское обслуживание, и лишь надежда на наличие у них профессиональной этики может в какой-то мере утешить пациента. Пока пациенты и страховые компании могут платить за лечение, врачи оказывают медицинскую помощь, не учитывая связанные с этим расходы и не неся никакой ответственности за нецелесообразность неоправданно дорогих форм лечения.

4. Система функционирует в основном как разомкнутая система: в ней нет эффективной обратной связи. То, что счета врачей и больниц направляются страховым компаниям, не уменьшает стоимости медицинского обслуживания. Больницы стараются нажиться на всем. Осуществляемый контроль обычно ограничен и недостаточен.

Из вышесказанного можно сформулировать следующие принципы, лежащие в основе достижения эффективного управления с обратной связью в подобной организационной системе:



Принцип 4. Управляемая система должна содержать механизм сравнения реальных показателей работы системы с заранее установленными стандартами.

Принцип 5. Полученное различие между реальным показателем и стандартом должно быть использовано для побуждения системы к движению в направлении заранее установленных целей.

Принцип 6. Лицо, принимающее решения, должно быть заинтересовано в правильном функционировании системы, что достигается введением четких правил, регламентирующих ответственность, поощрения и наказания.

Принцип 7. Чтобы быть эффективным, механизм управления должен быть органически встроен в систему. Именно это позволяет распределить ответственность среди непосредственных участников системы.

Очевидно, что обеспечение системы здравоохранения по принципу оплаты за услугу не включает в себя ни один из данных принципов. Конечно, существуют некоторые механизмы для измерения отклонения реальных цен от ожидаемых. Однако результаты таких измерений используются на практике весьма несистематически. В данном случае требуется отрицательная обратная связь, которая и обеспечит разумное соответствие реальных и ожидаемых цен на медицинское обслуживание.

Предлагаемый способ исчисления персональной суммы оплаты по страховке при лечении каждого пациента обещает устранить некоторые недостатки существующей системы оплаты за услугу [33]. При этом способе оплаты каждый участник системы должен вносить ежемесячно сумму, сравнимую с той, которую он платит в настоящее время. Отличие состоит в том, что такой взнос покрывает все медицинские услуги, оказываемые группой больниц одного географического района. В результате каждый участник системы получит полное медицинское обслуживание в любой из этих больниц, укомплектованных оборудованием и персоналом на средства участников системы. Больницы и их персонал будут иметь фиксированный доход, основанный на ежемесячных взносах участников системы. Каждый может выбрать систему медицинского обслуживания, какую захочет. Поэтому системы заинтересованы в том, чтобы привлечь клиентов и увеличить доходы системы.

Для такой системы справедливы вышеупомянутые принципы управления.

1. Стандарты, с которыми сравниваются реальные цены, устанавливаются и для средней, и для максимальной стоимости медицинского обслуживания.

2. Разница между реальным показателем и стандартом используется как параметр обратной связи для сдвига системы в нужном направлении. Среди агентов процесса распределены и поощрения, и наказания, которые обуславливаются качеством функционирования системы (рис. 18.14).

3. Больницы заинтересованы в снижении цен на лечение, так как они знают, что различие между реальными ценами и

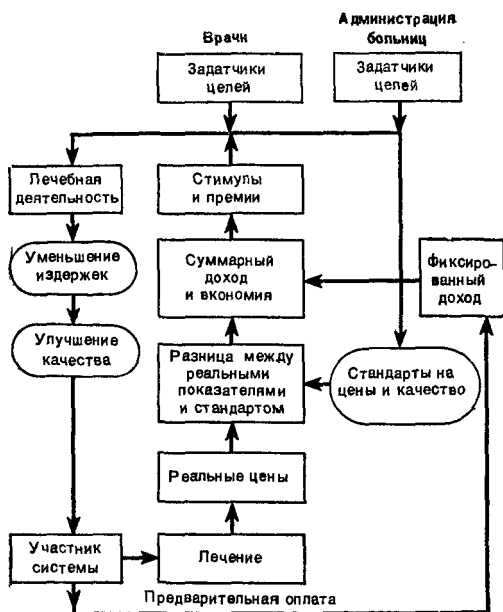


Рис. 18.14. Функции управления в системе здравоохранения, основанной на исчислении персональной суммы оплаты за лечение.

стандартами контролируется. Любая экономия, т. е. разница между суммарным взносом пациентов и реальными издержками, может быть использована больницами для уменьшения взносов пациентов, что привлечет дополнительных членов в данную систему. Полученную экономию можно использовать и для закупки более совершенного оборудования, что также привлечет новых клиентов. Таким образом, разница между реальным показателем и эталоном используется как стимул к движению системы в желаемом направлении (см. принципы 5 и 6).

4. Врачи также заинтересованы в снижении издержек медицинских услуг. Отношение врачей к своим обязанностям не зависит от издержек, имеющих место в системе. Они стремятся не упускать из виду то, что связано с ценой медицинских услуг, и стараются эту цену уменьшить. Приведем такой пример. Общеизвестно, что стационарное лечение является наиболее дорогой формой медицинской помощи. В существующей в настоящее время системе врач стремится направить пациента для лечения в больницу, хотя лечение может быть произведено и амбулаторно. В предлагаемой же системе и врач, и больница в одинаковой степени заинтересованы в том, чтобы количество

человеко-дней стационарного лечения не было излишне велико. Они заинтересованы также в использовании таких возможностей, как лечение в домашних условиях или в поликлинике. И врач, и больница заинтересованы также в поддержании хорошего здоровья у всех участников системы, так как в этом случае не потребуются дорогих форм лечения, типичных для запущенных случаев. Следовательно, медицинские работники заинтересованы в расширении системы профилактических мер, которые могут принимать самые различные формы.

5. Эталоны устанавливаются и для определения того, сколь эффективно лечащий врач использует возможности, имеющиеся для лечения, исходя из размера взноса пациента. Ведь вред может быть нанесен как излишним усердием, так и недостаточным вниманием. Несмотря на трудности стандартизации в этой области, некоторые организации уже проводили эксперименты по определению разумной степени использования возможностей для сохранения здоровья.

Организация врачей одного из округов шт. Орегон ввела эффективную систему контроля, основанную на той посылке, что лечащий врач отвечает за каждый диагноз, который нашел отражение в общей стоимости лечения. Такую ответственность несет и врач, ставивший первичный диагноз, и врач, к которому пациент был направлен на консультацию, и врач больницы и т. д. [34].

6. При практическом использовании принципов управления должна также существовать уверенность, что автоматизация исследования затрат и издержек не приведет к упущению из вида качества медицинской помощи. Ведь поскольку имеются стимулы к уменьшению затрат и к увеличению экономии, может пострадать качество. Пациент может судить о качестве получаемой помощи, сравнивая ее со своими собственными представлениями о качестве. Исходя из личного опыта и качества получаемой помощи, пациент сам решает, оставаться ему в данной системе медицинской помощи или же перейти в другую систему. Таким образом, для участников системы предполагается наличие возможности свободного перехода между системами, т. е. они наделяются качеством мобильности. Отзывы пациентов о функционировании системы используются последними как эталоны для оценки своей деятельности (рис. 18.15).

При уменьшении количества людей, пользующихся услугами данной больницы, ее доходы падают. Такое положение стимулирует повышение качества обслуживания. Однако, поскольку пациенты не всегда могут правильно определить, что же им в действительности нужно, следует создать специальную комиссию. Задача такой комиссии состоит в детальном изучении рекомендаций врачей и в оценке того, не снизили ли они качество

обслуживания, стремясь уменьшить расходы и увеличить экономию. Комиссия также решает вопросы о соответствии уровня медицинской помощи материальным возможностям пациентов. Ряд специфических видов помощи может быть доступен пациентам в государственных медицинских учреждениях.

На примере предлагаемой системы можно проиллюстрировать практическое использование принципов управления, описанных выше в данной главе. Важно отметить, что внедрение управляющей системы, основанной только на принципах 4 и 5,

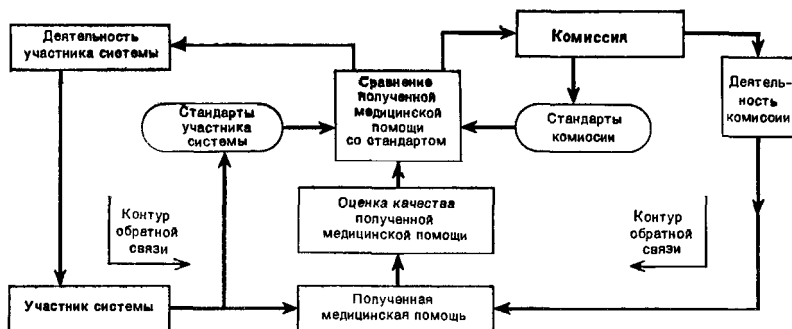


Рис. 18.15. Обратные связи при управлении качеством медицинского обслуживания.

обеспечит руководителей информацией лишь о наличии расхождений между реальными результатами и стандартами. Для уменьшения же таких расхождений потребуется управление с постоянным воздействием на основе встроенных механизмов самоуправления. Реализация принципов 6 и 7 обеспечит наличие механизма автокоррекции, т. е. наличие побудительных мотивов, основанных на денежных премиях для врачей и на стремлении к выживанию в конкурентной борьбе для больниц. Такие меры позволят устранить нежелательные эффекты.

Направление, в котором движется система, разумеется, будет зависеть от целей, поставленных самими больницами и врачами. Быть может, они установят цель — добиться наилучшего качества медицинского обслуживания, возможного при имеющемся оборудовании, финансовых ресурсах и т. д. Мы уже объяснили, как цели пациента могут быть учтены системой управления, например такая цель, как качество медицинского обслуживания. Мы не убеждены, однако, что система будет функционировать именно так, как здесь описано. Но вполне вероятно, что она будет лучше той системы, которая используется. Ведь сейчас рост цен на медицинское обслуживание просто безудержен. Нас обычно интересует вопрос о том, кто устанавливает

цели для проектировщиков системы. В данном случае мы спрашиваем: кто устанавливает цели для медицинского персонала, как планируется деятельность самих проектировщиков системы, чьи цели пользуются наибольшим приоритетом в конфликтных ситуациях — пациентов, врачей, больниц? Возникает, очевидно, и вопрос о силе влияния. Пациент имеет гораздо меньшее влияние или возможность получить компенсацию за что-либо, чем врач и больница. Возможно, следует регламентировать доступную всем процедуру выражения жалобы с целью уравнивания возможностей медицинского персонала и пациента. Угроза конкуренции со стороны других систем и мобильность пациентов могут и не иметь того эффекта, о котором говорилось выше. Пациенты, стремящиеся к получению медицинской помощи, еще не выступают в качестве «абсолютно информированных потребителей».

Уже организованы и успешно функционируют несколько подобных систем с встроенным механизмом управления. Цены на медицинские услуги в них установлены на фиксированном уровне и потребители как будто удовлетворены [35, 36]. Программы работы таких систем сейчас изучаются с целью их повсеместного использования в США.

Существует опасность, что применение указанных принципов управления может улучшить наилучшие системы и сделать нежизнеспособными более слабые системы. Больницы, располагающие сейчас хорошим персоналом и отлично зарекомендовавшие себя, имеют все возможности привлекать потребителей и получать желаемый доход. Больницы же среднего уровня могут стать еще хуже и лишиться как врачей, так и пациентов. Еще одна опасность, которую необходимо постараться избежать, — следование устаревшим стандартам с помощью механизма управления.

## Кибернетика и руководство <sup>1)</sup>

Дополнительные принципы теории управления в организационных системах можно получить, если ознакомиться с кибернетической моделью фирмы Бира, которую он создал, изучая физиологию мозга. Именно принципы нейрофизиологии позволили Бире глубоко проникнуть в существо нейрокибернетики и перенести кибернетические принципы на системы управления

<sup>1)</sup> Материал нескольких следующих разделов заимствован из работ: Beer S., *The Abortive Corporate Plan A Cybernetic Account of the Interface between Planning and Action*, E Jantsch (ed.), *Perspectives in Planning*, OECD, Paris, 1969; Beer S., *Brain of the Firm*, McGraw-Hill, New York, 1972, (С разрешения автора.)

организациями. Понимание того, как работает человеческий мозг и нервная система, дает кибернетикам возможность сформулировать общие принципы, приложимые и к иным сложным системам. По Биру, мозг является общесистемной моделью, т. е. иерархией систем, компоненты которых обнаруживают общность структуры и свойств. Такая общность позволяет легко переходить от системы к системе и от одного уровня иерархии к другому. На данное фундаментальное свойство общесистемных моделей мы уже неоднократно указывали. Такие изоморфизмы не устраняют возможности проявления каждым уровнем иерархии своих индивидуальных свойств, что и отмечал Бир при описании функционирования нервной системы человека.

Чудо, которым является мозг, может дать проектировщику систем модель, специфические характеристики которой можно использовать и при формировании организаций. Мы остановимся на следующих характеристиках:

1. Дуальные оси управления и иерархия управления.
2. Контур обратной связи, антагонистические органы управления и параллельные схемы.
3. Мозг как вычислительная машина.
4. Местоположение «главного коммутатора».
5. Метасистема и метаязык.
6. Алгоритмы и эвристики.
7. Разнообразие и саморегулирование.

### Дуальные оси управления и иерархия управления

Функционирование нервной системы можно рассматривать формально по двум осям.

Первая, *вертикальная, ось* управления соответствует положению спинного мозга, начинаясь от нижней части позвоночника и оканчиваясь в коре головного мозга. По этой оси можно выделить пять ступеней (уровней) управления:

- I — спинномозговой уровень позвоночника;
- II — непосредственно спинной мозг;
- III — средний мозг, варолиев мост, продолговатый мозг и мозжечок;
- IV — промежуточный мозг, базальные ганглии и область третьего желудочка мозга;
- V — кора больших полушарий головного мозга.

Вертикальная ось управления объединяет в единое целое функции всех ступеней управления, создавая их «органический баланс».

Вторая, *горизонтальная, ось* позволяет системе на каждой ступени, за исключением пятой — головного мозга, функционировать автономно и осуществлять управление избирательно по соответствующим уровням,

При создании модели кибернетической фирмы Бир вводит объединяющее понятие *дуальных осей управления* (см. рис. 19.2):

1. Горизонтальная ось управления позволяет каждому функциональному подразделению действовать автономно, без поступления информации к руководству фирмы.

2. Вертикальная ось лишь передает дальше часть общей информации, требуемой для:

а) поддержания внутреннего равновесия на уровне 3 (см. рис. 19.2) (уровне внутреннего гомеостаза);

б) объединения внутренних и внешних входов-выходов в целях описания стратегий фирмы на уровне 4 (уровне внешнего гомеостаза);

в) формирования долгосрочной политики на уровне 5 (уровне планирования, прогнозирования).

Для того чтобы быть жизнеспособной, фирма, как и живой организм, нуждается в обеих осях управления. Фирма не является ни полностью децентрализованной, ни полностью централизованной, ни гетерогенной (где целое служит интересам частей), ни гомогенной (где части служат интересам целого). Скорее, фирма «гомеостатически сбалансирована как внутренне, так и внешне» [37].

### Контуры обратной связи, антагонистические органы управления и параллельные схемы

На примере изучения физиологии человека можно убедиться в том, что существуют следующие реалии:

1. *Контуры обратной связи*, которые играют важную роль в процессах организации, регулирования и иерархического управления.

2. *Самостоятельные антагонистические органы управления*, которые стремятся нейтрализовать действие друг друга. Бир отмечает, что такие функции организма, как дыхание и сердечная деятельность, регулируются двумя «спаренными центрами, имеющими различные тенденции». Один из центров «стимулирует функции организма, другой же препятствует их проявлению». Таким образом, достигается баланс между стимулирующими и противодействующими факторами.

3. *Параллельная схема*, примером которой может служить функционирование симпатической и парасимпатической систем. Эта схема совместно с антагонистическими регуляторами направлена на обеспечение устойчивости и возможности автономного управления. Здесь «полностью проявляется двойственность природы управления» [38].

Необходимо осознать важность трех данных понятий при разработке искусственных систем. Эти понятия недвусмысленно указывают на большое значение уравнищенности и баланса факторов и на важность учета всех сторон явления, что дает возможность подходить диалектически к перспективному планированию, проходя фазы тезиса, антитезиса и синтеза [39]. Существование дополняющих друг друга способов связи (например, официальные и тайные каналы связи), возможность формальных и неформальных способов организации и вообще

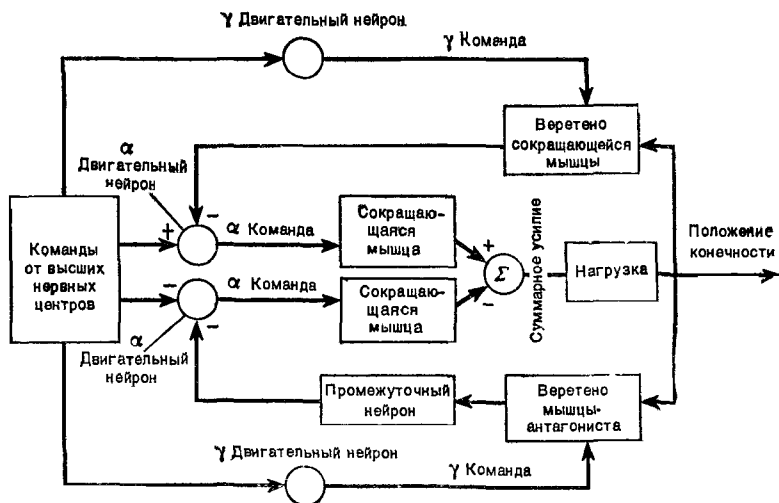


Рис. 18.16 Блок-схема нервно-мышечной системы с антагонистическими регуляторами [40]. (С разрешения F. A. Davis Co.)

двойственная природа многих явлений подтверждают ту точку зрения, что все аспекты должны быть учтены для достижения устойчивости и внутренней согласованности организации в целом. Хорошей иллюстрацией действия антагонистических регуляторов и параллельной схемы является нервно-мышечная управляющая система, наделенная тормозными и возбуждающими синапсами, роль которых описана Бики и Вульфом.

Нервный импульс, возникший в коре головного мозга, проходит вниз в спинной мозг и через синапсы поступает в нервные клетки различных уровней спинного мозга... Движение конечности предполагает координацию действий по крайней мере двух отдельных мышц. Одна из них (агонист) стимулируется нервной клеткой к сокращению, в то время как другая (ее антагонист) испытывает воздействие, препятствующее сокращению [40].

Иллюстрация такого механизма приведена на рис. 18.16. Бики и Вульф также отмечают существование соответствующих



мышечных веретен (род рецепторов), побуждающих и препятствующих сокращению мышц, которые влияют на частоту нервных импульсов в каждой из цепей обратной связи. В той же работе рассматриваются и вопросы регулирования «дыхательными хеомстатами» химического состава крови, контролируемого системой дыхания, регулирования артериального кровяного давления специальными датчиками, регулирования содержания воды в организме.

## Мозг как вычислительная машина

Бир указывает на то, что «легче представить себе мозг как вычислительную машину, чем вычислительную машину как некоторый тип мозга» [41]. Иными словами, при построении искусственных систем следует исходить из живой модели, и никакого обходного пути не существует.

## Местоположение «главного коммутатора»

Кора головного мозга не сообщается непосредственно с окружающей человека средой. Это свойство позволяет определить местоположение «главного коммутатора» всей организации. Он должен быть расположен в системе четвертого (а не пятого) уровня. Подобно ступени управления IV для нервной системы, тот же уровень в кибернетической модели фирмы Бира обеспечивает «связующий механизм между волевым и автономным управлением» [42].

## Метасистема и метаязык

Для понимания логики системы и для управления ею необходимы язык и система «более высокого логического уровня», чем управляемая система. Обоснованность данного замечания следует, например, из того факта, что две одинаково сильные стороны, или стороны одного правового статуса, не могут обычно сами разрешить возникший спор. Лишь арбитр, имеющий возможность оценить предмет спора с более высокого уровня, в состоянии примирить оппонентов.

## Алгоритмы и эвристики

Бир использует эти термины специальным образом, его интерпретация отличается от данной нами в гл. 9. В трактовке Бира алгоритм отличается от эвристики тем, что включает в себя поиск *известной* цели по *определенным* правилам, тогда как эвристика предполагает использование лишь правил *общего характера* для поиска *не определенной заранее* цели. Различие,

существующее между механистическими и живыми системами, можно оттенить именно путем сравнения алгоритмической и эвристической моделей управления. Алгоритмы отражают схемы механистических структур, но следует обратиться за помощью к эвристикам при описании свойств высокоорганизованных систем и процессов, таких, как обучение, эволюция, мутация. Еще более совершенные стратегии поведения системы могут быть получены в том случае, когда в системе предусмотрены алгоритмические средства формирования эвристик. Нам необходим алгоритм, который «задает эвристику» [43]. В промышленной фирме текущее управление деятельностью на низших уровнях может осуществляться на основе алгоритмов, в то время как для принятия решений высокого уровня необходимо привлечение эвристик. Данное описание можно сравнить с использованием этих терминов Саймоном. Мы можем применять алгоритмы для программирования повторяющихся, хорошо структурированных решений, а эвристики — для работы с новыми, плохо структурированными решениями, не имеющими рекуррентного характера [44].

## Разнообразие и саморегулирование

Бир часто ссылается на сформулированный выше закон необходимого разнообразия. Как один из уровней фирмы существуют «организационные средства уменьшения разнообразия реального мира», так же как и уровень «организационные средства увеличения разнообразия форм руководства» [45]. Практические аспекты кибернетики руководства состоят в «распутывании... нитей разнообразия — его возникновения и разрастания, его уменьшения и увеличения, фильтрации и управления» [45]. Торможение процесса увеличения разнообразия есть «акт управления» [46].

Человеческий организм функционирует. Возможно, мы не всегда знаем как и почему, но функционирует. Это полностью определяется тем фактом, что организм человека обладает способностью к самоорганизации, самосохранению, т. е. к саморегулированию. Сочетание всех этих свойств обеспечивает организм человека системой управления, которая позволяет ему выжить. Во всех своих осознанных и неосознанных проявлениях разума человек «выбирает те конкретные способы организации которые в максимальной степени способствуют его выживанию» [47]. Как наделить такой замечательной способностью искусственные системы — вот в чем задача науки о проектировании систем.

## Функции человека по обработке информации

Мозг человека имеет сходство с системой (или каналом) связи, которая выполняет функции, подобные функциям основного цикла управления.

Как было описано в предыдущих главах, в системе связи, отождествленной с соответствующими функциями человека, могут быть выделены три компонента:

1. *Рецепторная система*, которая соответствует сенсору и дискриминатору системы управления. Рецептор построен из чувствительных органов и преобразует входные воздействия (раздражители) в нервные импульсы.

2. *Эффекторная система*, состоящая из мышц и конечностей и преобразующая нервные импульсы в мышечную деятельность. В то время как рецепторная система воспринимает информацию от внешней среды, эффекторная система выполняет задачу управления выходными воздействиями, идущими во внешнюю среду.

3. *Центральные механизмы*, которые служат связующим звеном между рецепторной и эффекторной системами. Их функции состоят в «интерпретации информации, получаемой от рецепторной системы, в соответствии с имеющимися в данный момент стремлениями и в формировании „команд“ для эффекторной системы» [48].

Мозг человека и три определенные выше системы функционируют как канал обработки информации. Они выполняют функции обработки информации, называемые умственными тербליгами по аналогии с физическими терблигами (элементами трудовых движений) — традиционным способом измерения работы.

1. Рецепторная система реализует сенсорные и перцептивные процессы. Сенсорные процессы состоят в преобразовании физических или химических раздражителей, полученных из внешней среды, в нервные импульсы. Перцептивные процессы осуществляют функции организма по отбору, организации и интерпретации информации, поступающей от органов чувств [49].

К рецепторной системе могут быть отнесены следующие процессы психической деятельности: восприятие, сканирование, различение, распознавание, идентифицирование, выделение, классифицирование, подбор по нужным признакам, составление мнения, оценка и сравнение [50, 51].

Результатом работы рецепторной системы является последовательность так называемых «перцептуальных откликов», дающих полное описание

окружающей среды в терминах заранее установленного кода. Отклики рецептора направляются в центральные механизмы, чьи функции состоят в интерпретации информации, получаемой от рецепторной системы, в соответствии с имеющимися целями и в посылке «команд» в эффекторную систему [52].

2. Центральные механизмы являются наименее изученной частью нервной системы. Однако именно им свойственны процессы умственной деятельности, которые связывают внешние раздражители с откликами организма, и именно их можно назвать мышлением.

Центральные механизмы выполняют следующие функции по обработке информации: а) формирование понятия, или использование общего отклика при реагировании на разнородные раздражители; б) задание целей; в) решение задач и обучение; г) формирование решения [53]; д) формирование или сохранение последовательного порядка чисел, объектов, явлений, задач и т. п. [54]; е) объединение и установление отношений — процессы, благодаря которым человек организует получаемую им информацию в иерархическую систему в целях сохранения информации «в виде, согласующемся с его собственной познавательной структурой» [55]; ж) творчество — высшее достижение интеллектуальной деятельности человека.

3. Процессы, реализуемые эффекторной системой, состоят в выполнении команд, получаемых от центральных механизмов. Эффекторная система «управляет синхронностью движений и следит за степенью соответствия движения эталону» после принятия нового решения по выполнению движения [56]. Эффекторная система координирует выходные сигналы при помощи «внутренних» обратных связей», захватывающих временные и постоянные участки памяти, в которых хранятся способы выполнения и образцы возможных движений [57].

Мы можем иметь: 1) управление на основе разомкнутого или замкнутого контура, что определяется отсутствием или наличием зависимости выполняемого движения от опыта [58], и 2) символьные или несимвольные задачи. Умственная нагрузка также будет зависеть от степени соответствия (или от недостатка соответствия), которое существует между воспринимаемыми входными раздражителями и совершаемыми выходными действиями. В случае символьной задачи внешнее проявление и соответствующее ему действие подобрать друг к другу не так просто. В несимвольном же случае это сделать легко [59].

Канал связи, соответствующий определенным функциям человеческого организма, может быть построен как регулятор, в котором процесс обработки информации должен способствовать управлению откликами. Из всех имеющихся возможных откликов регулятор отбирает лишь те, которые совместимы, или согласованы, с входными раздражителями. Вне нашего рассмот-

рения остается выяснение того, как именно эти правила и нормы согласованности формируются, с одной стороны, опытом, культурой, привычками, образованием, а с другой — тренировкой. Здесь мы ограничимся только замечанием, что выполнение регулирования требует умственных усилий, которые расходуются при обработке информации каналом связи. Традиционные методы технических и иных подобных дисциплин не позволяют оценить такие умственные, психические усилия. Подобная ситуация имеет место как при явном, так и при скрытом проявлении психической деятельности. Описываемая ниже модель поведения является попыткой создания концептуальной основы для оценивания умственных усилий, возникающих при решении человеком задач по обработке информации для управления своими выходными воздействиями.

### Модель поведения и теорема об информационной емкости канала связи

Модель поведения, предложенную ван Гигом [60], можно использовать для описания и измерения количества информации, обрабатываемой каналом связи, соответствующим определенным функциям человека. Основой для такого измерения является концепция уменьшения энтропии, что связано с уменьшением неопределенности при принятии решения путем последовательного выбора.

В случае  $N$  вариантов и в предположении равновероятности всех событий и откликов величина  $H$  является общим количеством информации, подлежащим обработке за один такт:

$$H = - \sum_{i=1}^N \frac{1}{N} \log_2 \frac{1}{N},$$

$$H = \log_2 N, \text{ бит/такт обработки.}$$

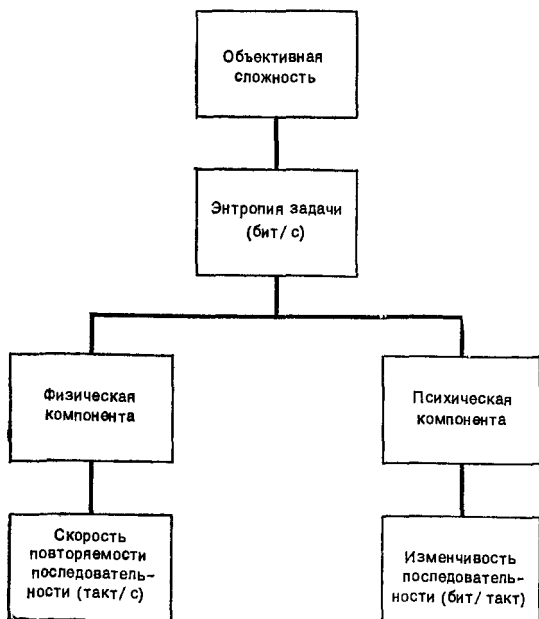
Если же в единицу времени осуществляется  $n$  тактов обработки информации, то средняя скорость передачи информации может быть оценена как

$$I = n \log_2 N, \text{ бит/ед. времени.}$$

Средняя скорость обработки информации представляет собой либо количество информации, обработанной в цепи от входа к выходу системы, либо объем умственных терблигов, которые должны быть затрачены на решение задачи. Параметр средней скорости может быть использован для сравнения информационного содержания задач и работ на различных уровнях развития технологии. Этот параметр можно разложить на две компоненты:

1) *физическую*, которую можно рассматривать как скорость повторяемости задачи;

Рис. 18.17. Две компоненты объективной сложности в производственных системах [61].



2) *психическую*, связанную со степенью изменчивости последовательности задач (рис. 18.17).

Физическая и психическая компоненты определяют энтропию задачи, или объективную сложность ситуации. Данное понятие уже было введено в гл. 14.

Недавние экспериментальные работы [61] привели к заключению, что компромиссы между этими двумя компонентами таковы, что предельная величина суммарных требований к индивидууму никогда не превышает. Данная предельная величина фигурирует в теореме об информационной емкости канала связи. Теорема утверждает, что отношение максимально используемой в течение дневной работы информационной емкости канала к максимально допустимой емкости составляет 1 : 3. На основе теоремы можно исследовать влияние механизации и автоматизации на сложность и управление в производственных операциях и системах [61].

## Регулирование в сложных социальных системах

Теория управления в организациях и социальных системах основана на перенесении понятий кибернетики, математической теории связи и теории информации с жестких систем на мягкие. Такой подход дает мощные средства познания явлений, но имеет

и существенные ограничения на свое применение. Главное из них состоит в том, что сложные социальные системы не подготовлены для моделирования. К тому же средства их описания весьма далеки от совершенства в смысле формальной строгости. Использовать подход, базирующийся на основном цикле управления, можно лишь в тех случаях, когда каждая из функций системы четко определена и однозначно сопоставлена с какой-либо подсистемой. Регулирование в больших сложных системах, таких, как общество в целом, требует далеко не простой концептуализации.

Регулирование в таких системах состоит в поддержании ответной реакции системы в заранее установленных границах. Однако процесс задания таких границ довольно сложен и является результатом определенной эволюции наших представлений об исследуемой системе. При описании данного процесса полезно делать различие между тем, что некоторые авторы называют «текущим управлением» (в отличие от «стратегического управления») [62], и тем, что другие обозначают как «исполнительные решения» (в отличие от «решений по формированию стратегии поведения») [63]. Текущее управление и исполнительные решения используются в рамках заранее установленных стратегий поведения. Руководящий работник промышленного концерна стремится к тому, чтобы предприятие функционировало в соответствии с определенными экономическими и финансовыми стандартами, поддерживаемыми руководителями. Руководитель государственного ведомства принимает ежедневно исполнительные решения, которые соответствуют потребностям общества. Это соответствие определяется также исходя из определенных стандартов. В обоих случаях — при рассмотрении как промышленного предприятия, так и государственного ведомства — очевиден путь реализации основного цикла управления. Как проектировщики систем, задатчики целей, акционеры и совет директоров в одном случае, так и общественность в лице своих представителей в другом случае уже сформировали определенные нормы, линии поведения, правила, которые и определяют эталоны для сравнения с ними реальных результатов. Текущие исполнительные решения касаются текущих результатов. Данные решения следует всегда четко отличать от решений, направленных на модификацию стандартов, которых придерживается управляющий. Модификация эталонов является результатом решений по формированию стратегии поведения или результатом стратегического управления. Формирование стратегии включает в себя то, что было названо «системой понимания» [64], устанавливающей набор предпосылок о фактах и ценностях, которые соответствуют предположениям и убеждениям организации или ее членов. Понятие «понимание»,

введенное Виккерсом, может быть применено как на уровне общества в целом, так и на уровне индивидуума. Оно соответствует миропониманию Мейсона [65] и предположениям планировщика системы, обсуждавшимся в гл. 4 и 16. Мы напоминаем, что при обсуждении моделей достижения согласия результаты зависели от суммарных общих предпосылок планировщиков, т. е. от той роли, которую они отводили правительству, политическим иерархиям, экспертам. На результаты влияют также имеющиеся концепции относительно человеческой сущности, рациональности, мотиваций. Все эти предположения определяют «взгляд на вещи», влияют на способы «понимания» проблемы и определяют поведение планировщиков в конкретной ситуации. Состояние системы понимания описывается как «результат деятельности искусственного регулятора, оперативно реагирующего на внешнюю информацию» [66].

В больших сложных социальных организациях «система понимания» Виккерса действует подобно основному циклу управления при движении системы к цели.

Приемлемость проекта организации будет зависеть от соответствия систем ценностей самой организации и общества в целом. Данная идея возвращает нас к понятию этики систем. И регулятор, и руководитель должны выполнять не только функцию текущего управления и сверять свои решения с установленными эталонами. Они должны также выполнять и функцию стратегического управления для оценки воздействия своих стратегий на членов организации и на ее окружение.

Очевидно, что управление «потоком разнообразия» в сложных системах будет состоять не только в создании надлежащего объема информации, но также и в определении ценности этой информации.

## Заключение

В открытых системах, таких, как сложные социальные организации, движение к желаемому конечному состоянию зависит от «саморегулирования», обусловленного природой составных частей системы», в значительно меньшей степени оно определяется начальными условиями или другими внешними ограничениями [67]. Саморегулирование означает автономию для членов организации при реализации ими функции выбора. Стремления членов организации могут находиться в противоречии с любыми попытками изменить или повлиять на их системы понимания в целях достижения согласованности систем понимания. Однако, если агенты процесса изменений не предпримут согласованных действий и не будут учитывать такой важный фактор, как окружающая среда, жертвами изменений окажемся мы. Вопрос



состоит в стабильном планировании изменений. Изменение отнюдь не синоним нестабильности. Осуществление прогрессивного изменения, требуемого для решения задач, постоянно стоящих перед социальными организациями, предполагает стабильность агентов и реципиентов процесса изменений. Агенты процесса должны завоевать доверие реципиентов. Участники процесса должны разделять системы ценностей друг друга, что приведет к согласию и взаимному одобрению проектов [68, 69].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Emery F. E. (ed.), *Introduction, Systems Thinking*, Penguin, Middlesex, England, 1969, p. 8.
2. Wiener N., *Cybernetics* (2nd ed.), M. I. T. Press, Cambridge, Mass., 1961, p. 11. [Имеется перевод: Винер Н., Кибернетика, или управление и связь в животном и машине. — М.: Советское радио, 1958.]
3. Там же.
4. Ashby W. R., *An Introduction to Cybernetics*, 1956. [Имеется перевод: Эшби У. Р. Введение в кибернетику. — М.: ИЛ, 1959.]
5. Избирательная функция — термин, введенный в работе Mackay D. M., Buckley W., in *Information, Communication and Meaning*, Buckley W. (ed.), *Modern Systems Research for the Behavioral Scientist*, Aldine, Chicago, 1968, Introduction to pt. IV, p. 121.
6. Holling C. S., Goldberg M. A., *Ecology and Planning, Journal of the American Institute of Planners*, 37, 4, 224—225 (1971).
7. Laszlo C. A., Levine M. D., Milsum J. H., *A General Systems Framework for Social Systems, Behavioral Science*, 19, 2, 79—92 (March 1974).
8. Rubinstein M. F., *Patterns of Problem Solving*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1975, pp. 444—452; Beer C., *Brain of the Firm*, Herder und Herder, New York, 1972, ch. 2.
9. Sutherland J. W., *System Theoretic Limits on the Cybernetic Paradigm, Behavioral Science*, 20, 3, 191—200 (May 1975).
10. См. п. 7, с. 81.
11. Forrester J. W., *Industrial Dynamics*, MIT Press, Cambridge, Mass., 1961. [Имеется перевод: Форрестер Дж. Основы кибернетики предприятия. — М.: Прогресс, 1971.] Forrester J. W., *Urban Dynamics*, MIT Press, Cambridge, Mass., 1969. [Имеется перевод: Форрестер Дж. Динамика развития города. — М.: Прогресс, 1974.] Forrester J. W., *World Dynamics*, Wright-Allen, Cambridge, Mass., 1971. [Имеется перевод: Форрестер Дж. Мировая динамика. — М.: Наука, 1978.]
12. Определение вводится в книге Cannon W. B., *The Wisdom of the Body*, Norton, New York, 1936.
13. Cardon I. A. S., Schindler A., Yates F., Marsh D., *Progress Toward the Application of Systems Science Concepts to Biology*, Army Research Office, Arlington, Va., 1972, p. 65; Taschdjian E., *The Entropy of Complex Dynamic Systems, Behavioral Science*, 19, 2, 97 (March 1974).
14. Там же, с. 97.
15. Hardin G., *The Cybernetics of Competition, A Biologist's View of Society, in Perspectives in Biology and Medicine VII* (Autumn 1963), pp. 61—84.
16. См. п. 6, с. 226.
17. Там же, с. 225, 229.
18. См. п. 14, с. 452—454.
19. См. п. 4; Shannon C. E., Weaver W., *The Mathematical Theory of Communication*, University of Illinois Press, Urbana, 1949.

20. Hare V. C., Jr., *Systems Analysis: A Diagnostic Approach*, Harcourt Brace Jovanovich, New York, 1967, pp. 136, 148.
21. Litterer J. A., *The Analysis of Organizations*, Wiley, New York, 1965, p. 237.
22. Young S., *Organization as a Total System*, *California Management Review*, 10, 3 (Spring 1968).
23. Там же, с. 59.
24. См. п. 21, с. 242—245.
25. Там же, с. 244—245.
26. Blauner R., *Alienation and Freedom*, University of Chicago Press, Chicago, 1964, p. 6.
27. Там же, с. 7.
28. Там же, с. 32.
29. Woodward J., *Industrial Organization: Theory and Practice*, Oxford University Press, London, 1965.
30. Whyte W., *Men at Work*, Irwin, Homewood, Ill., 1961.
31. Lawrence P. R., Seiler J. A., *Organizational Behavior and Administration* (rev. ed.), Irwin, Homewood, Ill., 1965, p. 437.
32. См. п. 22, с. 59.
33. U. S. Department of Health, Education and Welfare, *Reimbursement Incentives for Medical Care: Objectives and Alternatives*, Social Security Administration, Office of Research and Statistics, Washington, D. C., March, 1968.
34. Haley T. W., *Health Maintenance Organizations, A Prototype: Physicians Association of Clackamas County (Oregon)*, *Hospitals*, 45, 63—64 (March 16, 1971).
35. Fleming S., *Kaiser Foundation-Permanente Program*, *Hospitals*, 45, 56—57 (March 16, 1971).
36. *The Health Factory*, *The Wall Street Journal*, 26 April 1971.
37. Beer S., см. п. 8, с. 300.
38. Там же, с. 142—152.
39. О гегелевой системе познания см. гл. 17.
40. Bekey G. A., Wolf M. B., *Control Theory in Biological Systems*, in Brown J. H. U., Jacobs J. E., Stark L. (eds.), *Biological Engineering*, F. A. Davis Co., Philadelphia, 1971, ch. 2, pp. 21—42. Другие работы по биологическим системам управления: Jones R. W., *Biological Control Mechanisms*, in Schwan H. P. (ed.), *Biological Engineering*, McGraw-Hill, New York, 1969, ch. 2, pp. 87—204; Milsum J. H., *Biological Systems Analysis and Control Theory*, in Clynes M., Milsum J. H. (eds.), *Biomedical Engineering Systems*, McGraw-Hill, New York, 1970, ch. 6, pp. 212—271.
41. Beer S., см. п. 8, с. 127.
42. Там же, с. 173.
43. Там же, с. 67—75.
44. Simon H., *The New Science of Management Decision, The Shape of Automation for Men and Management*, Harper and Row, New York, 1965. Данные понятия обсуждаются также в гл. 9.
45. См. п. 8, pp. 288—289.
46. Там же, с. 54.
47. Там же, с. 68.
48. Crossman E. R., *Information Processes in Human Skill*, *British Medical Bulletin*, 20, 32—37 (1964).
49. Sanford F. H., *Psychology: A Scientific Study of Man* (2nd ed.), Wadsworth, Belmont, Belmont, Calif., 1965.
50. Fitts P. M., Posner M. I., *Human Performance*, Brooks-Cole, Belmont, Calif., 1967.
51. Van Gigch J. P., *A Model for Measuring the Information Processing Rates and Mental Load of Complex Activities*, *Journal of the Canadian Operational Research Society*, 8, 2, 116—128 (1970).

52. См п 48, с 33
53. Costello T W., Zaikind S. S., *Psychology in Administration: A Research Orientation*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1963.
54. Crossman E R., *Information and Serial Order in Human Immediate Memory in Cherry C. (ed.), Fourth London Symposium on Information Theory*, Butterworth, Washington, D C., 1961.
55. Miller G A., *Human Memory and the Storage of Information*, Transactions of the Institute of Radio Engineers, Professional Group on Information Theory, IT-2, 1956, pp. 129—137.
56. Fitts P. M., Peterson J. R., *Information Capacity of Discrete Motor Responses*, *Journal of Experimental Psychology*, 67, 103—112 (1964).
57. Crossman E R., *The Information Capacity of the Human Motor-System in Pursuit Tracking*, *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, Part I, 12, 1—16 (1960).
58. Fitts P. M., Radford B. K., *Information Capacity of Discrete Motor Responses Under Different Cognitive Sets*, *Journal of Experimental Psychology*, 71, 475—482 (1966).
59. Crossman E. R., *The Information Capacity of the Human Operator in Symbolic and Non-Symbolic Control Processes*, in Draper J. (ed.), *The Application of Information Theory to Human Operator Problems*, Report No WR(d) 2/56, Ministry of Supply, Kent, England, 1956; Fitts P. M., Seeger C. M., *S-R Compatibility Spatial Characteristics of Stimulus and Response Codes*, *Journal of Experimental Psychology*, 46, 199—210 (1953).
60. Van Gigch J. P., *The Impact of Technology on the Mental Content of Work in Industrial Operations*, unpublished Ph. D. dissertation, Oregon State University, Corvallis, Oreg., 1968; Van Gigch J. P., см. п. 51; Van Gigch J. P., *Applications of a Model Used in Calculating the Mental Load of Workers in Industry*, *Journal of the Canadian Operational Research Society*, 8, 3, 176—184 (1970); Van Gigch J. P., *Changes in Mental Content of Work Exemplified by Lumber Sorting Operations*, *International Journal of Man-Machine Studies*, 3, 13—29 (1971); Van Gigch J. P., *A Process Computer's Contribution to the Reduction of Mental Effort and to the Handling of Systems Malfunctions*, *International Journal of Man-Machine Studies*, 3, 201—218 (1971).
61. Van Gigch J. P., *The Physical and Mental Load Components of Objective Complexity in Production Systems*, *Behavioral Science*, 21, 6, 490—498 (November 1976).
62. Vickers G., *The Art of Judgment*, Basic Books, New York, 1965; Vickers G., *Freedom in a Rocking Boat*, Basic Books, New York, 1971; Vickers G., *Towards to Sociology of Management*, Basic Books, New York, 1967; Vickers G., *Value Systems and Social Process*, Basic Books, New York, 1968.
63. Anthony R. N., *Framework for Analysis*, *Management Services*, 1, 18—24 (March—April 1964).
64. Vickers G., *The Art of Judgment*, ch. 4.
65. Mason R. O., *A Dialectical Approach to Strategic Planning*, *Management Science*, 15, 8, B-403—B-414 (1969).
66. Vickers G., *The Art of Judgment*, p. 67.
67. См. п. 1, с. 11.
68. Vickers G., *Freedom in a Rocking Boat*, ch. 9.
69. Katz D., Kahn R. L., *The Social Psychology of Organizations*, Wiley, New York, 1966, ch. 3.

#### Введение

При ознакомлении с данной книгой проницательный читатель отметит, что одним из ее достоинств является возможность начать изучение той или иной главы без рассмотрения материала предыдущих глав; при этом нить рассуждений автора не будет утеряна. Возможно, это просто учтивый читатель, хотя автору хотелось бы думать, что концепция цикла проектирования систем, отражая непрерывно идущий процесс проектирования, действительно играет активную роль в структуре книги. Читателю следует ясно осознать, что, как и во всех подобных процессах, функции процесса проектирования систем действуют одновременно. Невозможно сказать, где начинается и где кончается этап определения проблемы, когда этап реализации можно считать законченным и уже можно приступить к планированию следующего цикла проектирования. Именно поэтому глава «Планирование» помещена в данном месте книги. Как сразу же станет очевидным, планирование означает гораздо больше, чем просто предсказание. Иногда планирование отождествляют непосредственно с процессом проектирования системы. Теория планирования дает возможность более глубоко исследовать проблему проектирования систем. Вопрос о планировании поднимался в гл. 16 в связи с вопросом о достижении согласия. Специалисты по планированию являются экспертами особого типа (эксперты и экспертиза обсуждались в гл. 17).

#### Обзор основных аспектов планирования в связи с проектированием систем

Существует обширная литература, посвященная вопросам планирования и связанным с этим проблемам. Наша цель будет ограничена рассмотрением современных тенденций в области планирования и иллюстрацией того, как они сочетаются с проблемой проектирования систем. На Западе многие связывают

планирование исключительно с социалистической политической системой, в которой экономика и производство находятся под управлением государственных органов. В США одной из форм общенационального экономического планирования является децентрализованный подход. При этом преобладает точка зрения, что система конкуренции, базирование экономики на невмешательстве государства, принцип «невидимой руки» Смита могут выводить экономику из постоянно повторяющихся кризисов. В современном сложном мире, где международные события оказывают влияние на события внутригосударственные и наоборот, абсолютно несерьезна вера в миф и магическую силу «невидимой руки» — механизма, который якобы позволит разрешить все проблемы. Планирование необходимо и обязательно. Для тех же, кто опасается наличия принципиальных противоречий между планированием и свободой<sup>1)</sup>, будут приведены убедительные аргументы в пользу того, что таких противоречий нет. Более того, будет показано, что конкретная форма проявления свободы непосредственно связана с предположениями, имеющимися у создателей системы планирования.

Вначале мы дадим обзор четырех направлений развития теории планирования. Затем будет проведено сравнение традиционной механистической теории с современной общесистемной теорией планирования. Будут также обсуждаться и другие концепции, такие, как эволюционная теория, бихевиоризм по Скиннеру и кибернетический подход Бира. В заключение будет показано, что свободу действий можно планировать и что такое планирование является законным объектом рассмотрения теории проектирования систем.

## Основные традиционные направления теории планирования

В работе [1] дан обзор развития главных направлений теории планирования как самостоятельной области науки, начиная с 1930 г.

Планирование понимается как деятельность по обеспечению «связи между знанием и организованным действием» [2]. Рассмотрим следующие традиционные направления: 1) философский синтез; 2) рационализм; 3) развитие организации; 4) эмпиризм.

---

<sup>1)</sup> В этой главе термин «свобода» употребляется в различных смыслах, за исключением его главного социально-экономического и политического значения — отсутствия эксплуатации, присвоения результатов чужого труда. — *Прим. ред.*

## Философский синтез

Авторы, придерживающиеся данного направления, обычно выходят за рамки сферы своей деятельности и стараются сформировать «интегральный взгляд на планирование как на общественный процесс». Начиная с 30-х годов Мангейм [3] рассматривал планирование прежде всего как «образ мышления» и, следовательно, проблема планирования «вращалась вокруг возможности достижения исчерпывающего общественного знания». Дебаты по вопросу о возможности совместимости свободы действий с планированием и рациональностью привели к возникновению двух противодействующих лагерей. Первый составляют те, кто, подобно Мангейму, «верит в способность разума постигнуть социальные реалии и привести к усилению человеческого духа». Второй лагерь составляют последователи Хейека [4] и Поппера [5], которые не верят в возможность человека определить, где кроется общественное благо и кто именно боится возможных покушений на индивидуальные свободы со стороны центральных механизмов распределения. Дебаты между приверженцами планирования и сторонниками свободы не новы, они продолжаются и по сей день. Считается, что следующие авторы придерживаются направления философского синтеза, являющегося междисциплинарным по своей природе:

1. Дал и Линдблом [6] используют понятие «расчлененного инкрементализма» — процесса формирования решения, в котором особое внимание обращается на учет малых колебаний около известных решений. Считается, что «расчлененный инкрементализм» схож с процессом субоптимизации — «процессом достижения почти оптимальных целей путем почти оптимальных затрат» [7]. Акофф охарактеризовал подобное отношение к планированию как «неактивное» [8]. Данные вопросы обсуждались в гл. 13.

2. Эциони представляет себе планирование как процесс, в котором управление со стороны общества и согласие членов общества должны быть оптимально сбалансированы. Рис. 19.1 иллюстрирует классификацию, предлагаемую Эциони.

Считается, что инертное и высокоцентрализованное общества... связаны с относительно высокими уровнями общественного отчуждения. Активные и пассивные общества в меньшей степени подвержены отчуждению, однако пассивные общества принимают существующее положение, а активные общества обнаруживают как желание, так и способность к достижению своих целей [9].

3. Эциони предвидел новую волну 60-х годов, когда на планирование смотрели как на процесс психологического развития, как на форму «общественного познания». Основной акцент делали на «личные контакты как главное средство общения

между техническими экспертами и заказчиками». Считается, что научные и технические знания органически соединяются с личными знаниями человека в «процессе взаимного обучения» [10]. Райс [11], а также Эмери и Трист [12] рассматривают планирование в связи с социотехническими системами и социотехническим анализом, а Фридман — как достижение компромисса [13].

Фридман выделяет четыре возможных типа планирования: а) управления, б) стратегий, в) групповое и г) осуществляемое непосредственно заинтересованными лицами. Фридман выражает «органический взгляд на общество», построенное на ос-

|          |         | Управление                                      |                    |
|----------|---------|-------------------------------------------------|--------------------|
|          |         | Сильное                                         | Слабое             |
| Согласие | Высокое | Активное общество                               | Инертное общество  |
|          | Низкое  | Общество с высоко централизованным руководством | Пассивное общество |

Рис. 19.1. К теории планирования Эциони [1, 9]. (С разрешения *Journal of the American Institute of Planners*)

нове «ячеистой иерархии сообществ, с небольшими рабочими группами в качестве основы каждой ячейки... Движение вперед осуществляется благодаря деятельности этих рабочих групп. Они вербально обрабатывают большие количества информации, передавая сообщения о своих потребностях последовательно на все более высокие уровни управления» [14].

Такому взгляду на общество может быть противопоставлена точка зрения Белла, согласно которой услуги, информация, досуг и большой приоритет неформального процесса формирования решений по сравнению с формальным доминируют среди ценностей общества [15].

4. Янч описывает процесс планирования как имеющий «по крайней мере следующие составляющие:

- горизонтальную (связанную с различными концептуальными положениями систем, с различными взглядами и отношениями, нашедшими в них свое отражение);
- вертикальную (имеющую отношение к различным уровням рассуждений, что эквивалентно разным уровням синтеза в планировании);
- временную и причинную (обусловленную различными диапазонами времени);
- активную (связанную с полным процессом рациональной созидательной деятельности — от идеи к ее воплощению) [16].

5. Акофф классифицирует отношение к планированию, исходя из принадлежности к одной из школ: инактивизму, реактивизму, преактивизму и интерактивизму [17].

Инактивисты удовлетворены существующим положением дел и путями дальнейшего развития... [Они признают использование управления лишь в кризисных ситуациях] и проповедуют концепцию «осуществимости» как основной критерий выбора средств.

Реактивисты предпочитают предшествующее состояние настоящему. Они полагают, что многие вещи, будучи и без того плохими, делаются все хуже и хуже... Они стараются воссоздать прошлое путем уничтожения той путаницы и беспорядка, которые, по их мнению, являются неизбежным результатом планирования [18].

Преактивисты... планируют на будущее; они не планируют собственно будущее... Преактивисты полагают, что будущее по самой своей сути неуправляемо, но они могут ускорить его наступление и управлять полученными результатами в соответствии со своими потребностями

Про интерактивистов нельзя сказать ни то, что они чем-либо удовлетворены, ни то, что они стремятся что-либо оптимизировать. Скорее они идеализируют хорошие вещи. Они планируют улучшить что-то в будущем, но не планируют получить лучший результат, который можно было бы достигнуть сейчас [19].

Как отмечает Акофф, из данных четырех подходов к планированию лишь последний отчасти согласуется с положениями общей теории систем.

## Рационализм

Рационализм рассматривает планирование как способ формирования решений, когда «решения предшествуют действиям». В этом случае имеет место пошаговый процесс обоснования выбора целей, стремлений, вариантов, последствий и результатов. Данный способ планирования известен как метод планирования по наилучшим возможным результатам. Представляется странным, что данный подход, который одновременно является и достаточно простым, и удовлетворяет высоким требованиям по строгости, мало распространен в настоящее время.

Как мы неоднократно предупреждали, при проведении процесса планирования необходимо учитывать психологические особенности участвующих в нем лиц и достижение между ними согласия. Неоднократно подчеркивалось, что существует опасность создания моделей планирования [20], не адекватных социальным реалиям и игнорирующих человеческий фактор. Анализ решений и применение общей теории систем позволяют преодолеть ряд трудностей, возникающих на пути развития данного направления. Дрор [21] является поборником первого подхода, а Озбекхен — сторонником использования общей теории систем.



## Развитие организации

Беннис признан наиболее ярким представителем данного направления, которое иначе называют «профессиональной динамикой» [22]. Сторонники направления организационного развития считают свое направление методом планирования, посредством которого организационные изменения вызываются агентами, внешними по отношению к системе. Эти агенты стремятся достичь «улучшения компетентности», «сдвигов в системе ценностей», «улучшения взаимопонимания членов рабочих групп» и «установления атмосферы сотрудничества». Организации также рассматриваются как социотехнические системы, в которых «поток организационных изменений есть процесс обучения, направленный на формирование сознания и поведения членов организации» [23].

## Эмпиризм

Существует два основных течения в теории планирования, ключевым моментом исследования которых является вопрос, как же в действительности функционируют крупномасштабные политические и экономические системы. Внимание представителей первого течения (интересного прежде всего для экономистов) концентрируется на изучении проблем общенационального, центрального планирования и т. д. Предметом исследования сторонников другого течения являются вопросы, связанные с урбанизацией в США. Здесь важны попытки объединить политические аспекты теории планирования с историческими, описание с предписанием, сложность вопроса с нейтральностью ценностей. «Эволюционное экспериментирование» — понятие, рассматриваемое в работе [24] как объединение этических и социальных исследований, схоже с «биологической эволюцией». В соответствии с этой концепцией центральным является положение современной школы эмпиризма, согласно которому в планировании должны быть объединены строго рационалистические и человеческие компоненты.

Итак, в каком направлении должно идти развитие современной теории планирования, если принимать во внимание указанные четыре подхода? На следующих страницах мы постараемся дать ответ на данный вопрос. В этой связи общесистемная теория планирования будет противопоставлена традиционным механистическим воззрениям, понятия и методы которых протекают в основном из школы рационализма.

## Общесистемная теория планирования

В табл. 2.1 мы сравнивали свойства систем, характерные и существенные для аналитико-механистического и системного подходов. Мы ссылались, в частности, на важное различие

между открытыми и замкнутыми системами и вытекающими отсюда последствиями. Для осуществления успешного проектирования социальной системы необходимо учесть, что такой компонент, как общение людей, присутствует в сложных открытых системах даже при высоком уровне автономности подсистем, где превалируют истинно кибернетические эффекты.

Как и проектирование систем, планирование является процессом решения задач, встающих перед социальными системами. Планирование уже было определено как

Метод частичного упорядочения и уменьшения степени существующей сложности [25].

Организация прогресса [26].

Целенаправленный процесс формирования решений [27].

Читатель может найти и много других определений планирования. Весьма вероятно, что единственное реальное различие между планированием и проектированием систем (как оно понимается нами) состоит в определенной ориентации планирования на будущее, и в его симбиозе с управлением: подразумевается, что планирование и управление обычно пронизаны одним духом. Их связь имеет место, например, тогда, когда планирование «функционирует так, чтобы оказать противоразрушительное влияние в случае угрозы возникновения в метасистеме неполадок и неустойчивости» [28]. Читателю, быть может, не понравится употребление слова «метасистема» в данном контексте, но мы надеемся, что нижеприведенные объяснения внесут ясность.

Озбекхен лучше других современных авторов уловил различия между ортодоксальным, или традиционным, взглядом на планирование и «новыми веяниями», основанными на принципах общей теории систем. В табл. 19.1 проведено сравнение данных точек зрения на планирование.

Традиционно планирование рассматривается как процесс формирования «напряженных» планов для достижения конкретных целей. Естественным является представление организации как иерархически организованной системы, имеющей уровни формирования решений и стратегий и уровни реализации этих стратегий и решений. Цели, достижению которых служат планы, формулируются на так называемом уровне формирования решений, причем этапы постановки целей и реализации планов — это отдельные этапы достижения целей. Таким образом, реализация планов является процессом, отличным от процесса установления целей, на достижение которых эти планы направлены. Более того, цели обычно находятся под влиянием императива возможности и являются определенной «логической экстраполяцией» существующего положения, т. е. можно сказать, что это как бы «логическое будущее». По-видимому,

Таблица 19.1

**Сравнение традиционного, или механистического, подхода  
с общесистемным подходом к планированию [25].  
(С разрешения автора и OECD.)**

|                                  | Традиционный, или<br>механистический,<br>подход к планированию                                                                                                              | Общесистемный подход<br>к планированию                                                                                                                                                                                                                         |
|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Процесс планирования как система | Замкнутая система, которая воздействует на другие системы и подсистемы, за исключением окружающей среды                                                                     | Открытая система, которая воздействует на все множество систем, включая окружающую среду                                                                                                                                                                       |
| Метасистема                      | Окружающая среда, которая находится вне рамок теории и практики планирования                                                                                                | Экосистема, включающая все системы, в том числе окружающую каждую систему среду и процесс планирования                                                                                                                                                         |
| Цель планирования                | Решение конкретных задач путем выбора допустимых вариантов                                                                                                                  | Модификация системы ценностей и окружающей системы для достижения соответствия между ними                                                                                                                                                                      |
| Метод                            | Решение задач; при этом большее внимание уделяется средствам, а не конечным результатам; разработка последовательных программ для преодоления кризисов                      | Организация процесса изменений, вводимых в систему: переход от того, что есть, к тому, что должно быть                                                                                                                                                         |
| Подход                           | Формирование планов на уровнях формирования стратегий и реализации стратегий в организационной иерархии                                                                     | Нормативный подход к прогнозированию будущего; основной акцент делается на выбор системы ценностей и на задание целей на уровне формирования стратегий в экосистеме                                                                                            |
| Цели                             | Устанавливаются вне процесса планирования, находясь под влиянием императива возможности                                                                                     | Цели определяются исходя из стандартов ценностей и стремлений и соответственно контролируются                                                                                                                                                                  |
| Будущее                          | Основой является «логическое» начало, т. е. расширение существующей ситуации; линейные детерминированные модели, выводимые из настоящего; учет технологических возможностей | Исходят из «желаемого», т. е. из того, что не может быть выведено из настоящего и должно быть либо постулировано, либо придумано; нелинейные многопараметрические модели, не связанные с настоящим; рассмотрение вне существующих технологических возможностей |

|                           | Традиционный, или<br>механистический,<br>подход к планированию                                            | Общесистемный подход<br>к планированию                                                                                                               |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Прогресс                  | Индивидуальная полезность                                                                                 | Общественная полезность                                                                                                                              |
| Стандарты или<br>ценности | Желания — основа человеческой деятельности, объективность — основа науки и полезность — основа технологии | Достижение экологического баланса способствует реализации обобщенных решений, уменьшающих энтропию и организующих экосистему на более высоком уровне |
| Проверка стандартов       | Индивидуальная, т. е. обращение к личному опыту                                                           | Общественная, осуществляется эмпирически по мере прогресса                                                                                           |

браться можно лишь за достижение технологически осуществимых целей. Лучше всего иметь дело с явлениями, допускающими линейную модель и прогнозирование своего развития. Если исходить из традиций протестантской морали и конкурентной системы свободного предпринимательства, решения считаются «прогрессивными» в той мере, в какой они служат целям индивидуума. Общественные нормы определяются исходя из опыта индивидуумов. Как замечает Озбекхен, «объектом ценности может быть общество, но восприятие ценности и ее обоснование осуществляется... личностью». Он называет это «таинством эмпирической проверки» [29]. Таким образом, хотя мораль является чисто индивидуальным феноменом<sup>1)</sup> и действия оцениваются исходя из личных критериев (норм) добра и зла, мы иногда ссылаемся на то, что именно желания управляют действиями человека и формируют общественные связи вообще. Более того, полезность также считается нормой, лежащей в основе технологии в том смысле, что с ее помощью каждый стремится достичь такой цели, как «разрешение проблемы дефицита путем массового производства и накопления богатства» [30]. Если изобилие является для нас главной целью, то очевидно, хотя и не может не вызвать иронии, что существующие планы не дают ожидаемых результатов, о чем свидетельствует наличие дефицита во многих областях.

Основная причина неудач планирования состоит в рассмотрении системы изолированно от ее окружения. Согласно общепринятому взгляду на планирование, окружение рассматривается как метасистема, т. е. система, которая находится вне других

<sup>1)</sup> Мораль является таковой лишь с точки зрения прагматизма — господствующего течения в американской философии. — *Прим. ред.*

систем, система более высокого уровня, содержащая остальные системы как подсистемы. Уже подчеркивалось, что удаление окружения из рассмотрения может сделать несостоятельным формирование плана в целом, приводя к субоптимизации и локальному неустойчивому равновесию, которые никогда не решат задачу полностью [31]. Одной из основных предпосылок общей теории систем является утверждение методологической несостоятельности и внутренней некорректности решений, не учитывающих все системы, присутствующие в рассматриваемой ситуации. Такие решения возможны лишь для частных задач.

Так, если наши интересы обращены к водным ресурсам Калифорнии, было бы ошибкой считать океан лишь резервуаром для стока воды и исключить его из числа систем, которые должны быть приняты во внимание. Конечно, океан находится вне географической или политической юрисдикции штата. Однако любое решение, не учитывающее активного влияния океана, приведет к ошибочным заключениям. Приведем еще один пример. Системный подход к проблеме обеспечения энергией должен учитывать все известные способы производства энергии, а также предусматривать открытие новых способов ее производства. Итак, основываясь на системном подходе к планированию, мы должны оперировать всем многообразием систем, включая и окружающую среду, и само планирование. Оригинальной идеей Озбекхена как раз и является рассмотрение планирования как системы — части экосистемы, объединяющей в себе все системы. Согласно данному автору, планирование является открытой системой, воздействующей на свое окружение и на другие системы и испытывающей, в свою очередь, их влияние. «Планирование порождает изменения» путем энергетического и информационного обменов с другими системами. Если экосистема способна привносить в себя энергию и уменьшать свою энтропию, то она сможет обрести более высокий уровень организации, или «экологический баланс». Достижение этого и является основной целью экосистемы. Изменения должны рассматриваться сквозь призму эталонов, т. е. они должны быть направлены на замену того, что есть, тем, что должно быть.

Озбекхен считает необходимыми изменения в следующих системах:

- 1) общем окружении, включающем системы человек — общество, жизнь — природа, предметы потребления — технология;
- 2) планировании и его составных частях;
- 3) ценностях, направляющих эти изменения.

Помимо формализации механистического подхода к планированию на основе общей теории систем заслуга Озбекхена

состоит в предусмотрении им возможности смены направления планирования, изменения относительной ценности эталонов, изменения целей в соответствии с нашим желанием. Таким путем мы изменяем не только окружение, но также и собственно систему ценностей для «достижения гармонии этих двух компонентов» [32]. При нормативном подходе к прогнозированию будущего акцент делается на выборе ценностей, которые удовлетворяют моральному и социальному императивам. Первый связан с этическими стандартами поведения, второй — с решениями, отвечающими общественной выгоде. Данные аспекты уже были определены как этические аспекты систем [33].

Озбекхен подчеркивает необходимость разработки и поиска стандартов, которые, образно говоря, находятся выше их сиюминутной реализации и могут быть теми идеалами, к которым мы должны стремиться. Совместно с Дюбо Озбекхен мысленно видит существование «желаемого будущего» — будущего, которое еще не может быть изображено отчетливо, не является линейной экстраполяцией настоящего и лежит вне современных технологических возможностей [34]. Планирование, таким образом, — это разновидность интеллектуальной системы, призванной претворить планы в жизнь. Для осуществления этого требуются не только изменения в технологии, но и изменения во всех аспектах реальной жизни. Системный подход к модификации «современного опыта» предполагает учет экосистем, стремление к экологическому балансу, необходимые изменения в «биологическом, физиологическом, физическом, психологическом, этическом, религиозном, технологическом, экономическом, политическом, национальном, международном, социальном, интеллектуальном» измерениях реальности [35].

Начало процесса установления иерархии эталонов, к достижению которых должна стремиться экосистема, введенная в рассмотрение Озбекхеном, было описано Акоффом. Он считает, что «идеальному обществу» свойственны четыре функции: 1) политико-экономическая, отражающая стремление к *изобилию*; 2) научная, воплощающая стремление к знанию — *истине*; 3) этическая, что означает стремление к *добру*; 4) эстетическая, отображающая стремление к *прекрасному*.

Акофф замечает, что истина, добро и прекрасное издревле составляют известную триаду, к ней еще следует добавить изобилие. Однако «изобилие принесло с собой некоторые потери в области этики и эстетики» [36].

Вновь обратившись к табл. 19.1 и к оригинальным научным трудам, на которых основываются данные подходы, читатель вправе задать такой вопрос: как же произойдут эти массовые изменения в стандартах общества? Теория управления динамическими системами, описанная в предыдущей главе, дает отча-

сти ответ на поставленный вопрос. Дальнейшее проникновение в суть вещей лежит на пути «планирования плана». Мы рассмотрим четыре подхода к планированию<sup>1)</sup>, которые не обязательно находятся на противоположных краях спектра возможных в принципе подходов, но различаются методологически.

1. Первый подход сформирован Ласло и отражает взгляды тех, кто интерпретирует эволюционную теорию на основе общей теории систем.

2. Второй подход исходит из бихевиористских взглядов Скиннера.

3. Третий подход, развиваемый Биром, рассматривает планирование и приносимые им изменения с точки зрения кибернетики.

4. И наконец, подход, исходящий из технологической оценки.

## Эволюционная теория планирования

Когда естественные системы вступают во взаимодействие с другими системами, либо выявляется их несовместимость, и тогда взаимодействие систем прекращается, либо достигается гармония, что приводит к их координированному функционированию; в последнем случае могут быть сформированы новые общие линии поведения [37]. Взаимодействие систем может вылиться и в совместные усилия по достижению цели, и в возникновение новой системы, более сложной, чем составляющие ее компоненты. Таким образом, можно говорить об эволюции, посредством которой две различные сущности объединяются в одну, более сложную. Имеет место «постепенное усовершенствование» определенных функций системы и ее откликов путем достижения большего порядка, объединения усилий, повышения сложности и индивидуализации. Наблюдаем ли мы эволюцию космоса, вида или организации, динамические силы взаимодействия приводят в результате «к появлению систем, обладающих большей сложностью». Системы реагируют на воздействия, приходящие от других систем; путем обменов и внутренних преобразований возникают новые типы формирований, которые могут объединять сложность и стабильность, что является залогом их самосохранения. Социальные системы, подобно органическим системам, обязаны своей живучестью способности приспособиться к окружающей их среде. Они отвечают на воздействия, угрожающие их существованию, путем самосовер-

<sup>1)</sup> В указанных ниже четырех подходах к планированию не учитывается та социологическая, социально-экономическая теория, которая отображает соответствующий социальный организм (или организацию) и лежит в основе процесса планирования. — *Прим. ред.*

шенствования, которое часто выражается в иерархизации и в переходе к более сложным системам. «Системы связаны с другими системами и в совокупности образуют сверхсистемы». Можно предположить, что такая эволюция является результатом реализации плана более высокого порядка. Именно в соответствии с этим планом происходит переход от «множественности и хаоса к единству и порядку». Современная наука трактует процесс реализации такого плана как естественнонаучный процесс. В этом процессе Природа не имеет своей собственной конкретной цели, но в нем сложность структуры является естественным результатом преобразований систем, происходящих при их взаимодействии.

Развитие начинается снизу, от систем низкого уровня, и протекает без влияния каких-либо высших авторитетов или систем, определяясь лишь своей предисторией. Таким образом, развитие есть процесс, с одной стороны, предопределенный, а с другой — открытый. Как указывает Ласло:

Для того чтобы выжить, необходимо адаптироваться, а это предполагает движение в определенном направлении. Существует свобода в выборе пути развития, но эта свобода ограничена рамками совместимости с динамической структурой целого [37].

Теория эволюции, как это видно, может быть использована для объяснения возможности и путей достижения согласованности изменений в системе ценностей и в состоянии окружения. Традиционные системы ценностей ставятся под сомнение теми, кто считает их устаревшими, не соответствующими реальности, не гибкими. В том случае, когда таких сомнений достаточно для преодоления естественной осторожности общества к нововведениям, могут возникнуть новые нормы, по-новому упорядочивающие поведение и структуру экосистемы. Для того чтобы быть эффективным, поиск возможностей для нововведений должен охватывать все стороны реальности, а не только ее простейшие аспекты, связанные с технологией. В то же время целенаправленные изменения в окружении, рассматриваемом в настоящее время как неотъемлемая часть системы в целом — экосистемы, будут также способствовать адаптации системы к изменению ее формы. Для того чтобы точка зрения Озбекхена на гармонию стандартов системы и ее окружения выглядела достаточно реально, эти стандарты должны претерпевать систематические изменения в результате эволюции и воздействия процесса планирования.

При выяснении той роли, которую играет окружение в реализации изменений, представляет интерес подход, предложенный Скиннером, который является предметом острых дискуссий.



## Бихевиоризм как теория планирования

Скиннер предлагает концепцию «оперантной обусловленности» (operant conditioning) в качестве «технологии поведения» [38] для совершенствования нашего мира. Человек часто испытывает на себе суровое воздействие со стороны естественных и искусственных систем окружающего его мира. Природа заставляет человека бороться за выживание. Человек завоевывает для себя право не быть голодным и бедным путем изменения окружающей его среды.

Как мы «освобождаем» потенциальных малолетних правонарушителей от влияния на них окружения, побуждающего к антиобщественным поступкам? Рецидивы правонарушений свидетельствуют о том, что, по-видимому, не на пути ужесточения наказаний лежит решение проблемы. В первую очередь необходимо изменить окружающую человека среду, а не личные качества индивидуума. Скиннер отвергает то мнение, что доброта, честность и т. д. связаны с внутренним «я» человека. «Поведение формируется и поддерживается своими же последствиями». Поведение как процесс, протекающий в окружающей среде, приводит к определенным специфическим последствиям, которые непосредственно связаны с условиями, сопутствующими протекающему процессу. Данные последствия, отражающие определенные аспекты порождающего их окружения, называются возможностями. Люди не ведут себя хорошо лишь потому, что они хороши сами по себе. Поведение людей строго определяется имеющимися возможностями. Скиннер не доверяет концепции «автономного человека», от «свободной воли» которого зависит его поведение. Предметом исследования как раз и является мир с надлежащими возможностями и окружением, условия которого таковы, что порождаемое им поведение уменьшает вероятность совершения правонарушений.

Возможности могут быть положительными или отрицательными в зависимости от того, усиливают они или ослабляют порождаемое поведение. Они могут быть также названы пресекающими или поощряющими. Пресекающие возможности используются для того, чтобы заставить людей не вести себя так, как они предполагали». Поощряющие возможности служат для стимулирования людей придерживаться задуманной ими линии поведения. Скиннер предлагает воздействовать на окружение либо путем изменения условий в нем, либо путем изменения возможностей, либо сочетать оба способа воздействия. Таким образом, он предлагает «смягчить пресекающие свойства окружения» и тем самым увеличить свободу индивидуума. Модифи-

кация окружения уже привела к увеличению свободы от физиологических потребностей путем совершенствования управления физическим миром. Подобно этому можно изменить и иные внешние условия для того, чтобы освободить индивидум от стимулов, угрожающих другим сторонам его жизни и свободы. Скиннер стремится к увеличению «негативной свободы», т. е. к уменьшению вторжения извне в личную жизнь. Теория Скиннера не помогает разрешить противоречия, состоящего в том, что планирование и свобода не согласуются друг с другом. Его взгляды лишь подогревают то мнение, что оперантная обусловленность может привести к «деспотичному управлению тех, кто будет пытаться захватить власть и использовать ее в своих собственных интересах» [39].

Сам Скиннер, однако, говорит, что в его модели мира усиление управления не обязательно ведет к уменьшению свободы. Скорее свобода порождается «управлением, осуществляемым на основе более рационального устройства окружающей среды», где нежелательные последствия поведения могут быть устранены или по крайней мере сведены к минимальным. «Мы должны спроектировать систему культуры, в которой никто не может оказаться... в положении», чреватом возможностью деспотического использования существующих сил. Появление соответствующей культуры является результатом процесса естественного отбора, процесса, ответственного за эволюцию систем в направлении большей сложности и упорядоченности. Согласно Скиннеру, «будущие мутации определяют результирующую систему» Искусственный отбор играет видную роль в развитии общественных отношений, которые будут управлять поведением людей в отдаленном будущем. Благодаря оперантной обусловленности и естественной «эволюции культур... мы достигли точки, в которой «хорошая культура» имеет больше шансов на выживание, чем «плохая культура».

Интересно, что трактование Скиннером свободы как функции условий, превалирующих во внешней среде, в некотором смысле схоже с нашей аргументацией. Автор книги считает, что имеющиеся формы свободы определяются предположениями проектировщиков системы относительно участников организации и желаемых условий. Однако наше объяснение, касающееся того, как можно запланировать свободу, вовсе не исключает существования внутреннего «я», наделенного чувствами, способностями и даже моральной неустойчивостью. Поведение такого внутреннего «я» управляется так называемыми «внутренними состояниями» и автономной волей. Скиннер же отрицает существование подобного внутреннего «я».

## Теория планирования Бира

Бир представил свои наброски в форме «обобщенного тезиса», приложимого ко всем системам современного мира. При этом системы различаются им не по предметному признаку, а лишь по уровню сложности. Для того чтобы рационально оперировать в рамках концепции сложности, мы создаем организацию (которая уменьшает энтропию) и призываем Науку к выполнению следующих функций:

1. Измерять сложность и оперировать этим понятием с привлечением средств математики.

2. Проектировать сложные системы с помощью ОТС.

3. Создавать жизнеспособные формы организации, применяя средства кибернетики.

4. Строить рациональные эффективные методы моделирования систем, включающих человека, используя науку о поведении.

5. Практически применять все полученные знания с помощью теории исследования операций [40].

Бир призывает к коренным изменениям стереотипов многих используемых сейчас решений. Мы должны заменить понятие *Homo Faber* (человек — создатель, творец) понятием *Homo Gubernator* (человек — рулевой, управляющий большими сложными интерактивными системами). Поддержка и оправдание лишь эволюционных изменений в социальных системах уже не дает нужного эффекта. «Нам нужны структурные изменения, которые уже по своей природе являются революционными» [41]. Необходимо внедрение в практику управляющих систем реального времени на общенациональном уровне, систем, включающих гомеостаты, обратные связи и сети связи, которые смогут осуществлять «кибернетический анализ реальных систем любого уровня» [42].

Намерения и цели Бира могут быть обоснованы следующим образом.

1. В настоящее время общественные системы и институты испытывают мощное влияние внешних воздействий и находятся в постоянном движении. Они редко пребывают в состоянии равновесия, часто выходят из устойчивого состояния. Время, требуемое для достижения ими нового устойчивого состояния (время релаксации), становится больше, чем интервал времени между двумя последовательными внешними воздействиями. Следовательно, системы уже не могут успешно справляться с потоком изменений, что ставит под вопрос их жизнеспособность.

2. Системы должны быть переструктурированы с целью улучшения их «живучести». Данный термин был введен в пре-

дыдущей главе и связан со способностью системы восстанавливать свои характеристики по окончании действия внешних возмущений. Время релаксации системы должно быть меньше, чем средний интервал времени между последовательными внешними возмущениями. В этом случае система успевает восстановить свое устойчивое состояние равновесия.

3. Понятие гомеостаза связано со способностью организма поддерживать свои важнейшие параметры в некоторых рамках, определяемых особенностями организма [43]. Эшби ввел термин «гомеостат» [44], что означает основной механизм управления, позволяющий установить и поддерживать нужный тип управления. При рассмотрении промышленной фирмы или организации «в пространстве стратегий должны быть определены точки, отражающие гомеостатически устойчивые состояния системы, т. е. состояния, находясь в которых система обладает максимальной живучестью» [45]. Все это далеко не просто сделать, принимая во внимание тот факт, что само равновесное состояние системы может изменяться с течением времени. (Данное явление, описанное в гл. 18, было вызвано гомеокинезом.) Подстраивание под такие изменения, или адаптация, есть не что иное, как процесс проверки живучести системы в разных условиях. Возможность реализации данного процесса зависит от способности системы удерживать «величину и скорость происходящих изменений в допустимых пределах, определяемых собственной структурой системы» [46].

4. На кибернетическое промышленное предприятие и на кибернетическую организацию можно смотреть как на «иерархию руководства» — «инфраструктуру» уровней управления, состоящую из отдельных управляющих систем, которые руководят системами нижележащего уровня и управляются системами вышестоящего уровня [47]. Бир выделяет следующие пять уровней управления, присутствующих в общей системе управления промышленного предприятия (см. рис. 19.2):

1. Разделенное управление, при котором деятельность подразделений запрограммирована, а необходимые ресурсы распределены заранее.

2. Общее управление, направленное на достижение взаимосвязи подразделений и сбалансированности их деятельности.

3. Внутренний гомеостаз, обеспечивающий реализацию общей стратегии поведения предприятия как целого.

4. Внешний гомеостаз, при помощи которого предприятие связано с внешней средой, другими предприятиями, с экономикой в целом и т. д. Здесь определяется стратегия поведения предприятия исходя из внешних условий.

5. Прогнозирование, при котором «намечают новые стратегии и проверяют их на моделях возможных в будущем условий» [48].

5. Идеи о такой системе пятиуровневого руководства возникли у Бира при изучении нейрофизиологии, или физиологии мозга. Структуру отношений изоморфизма между мозгом чело-

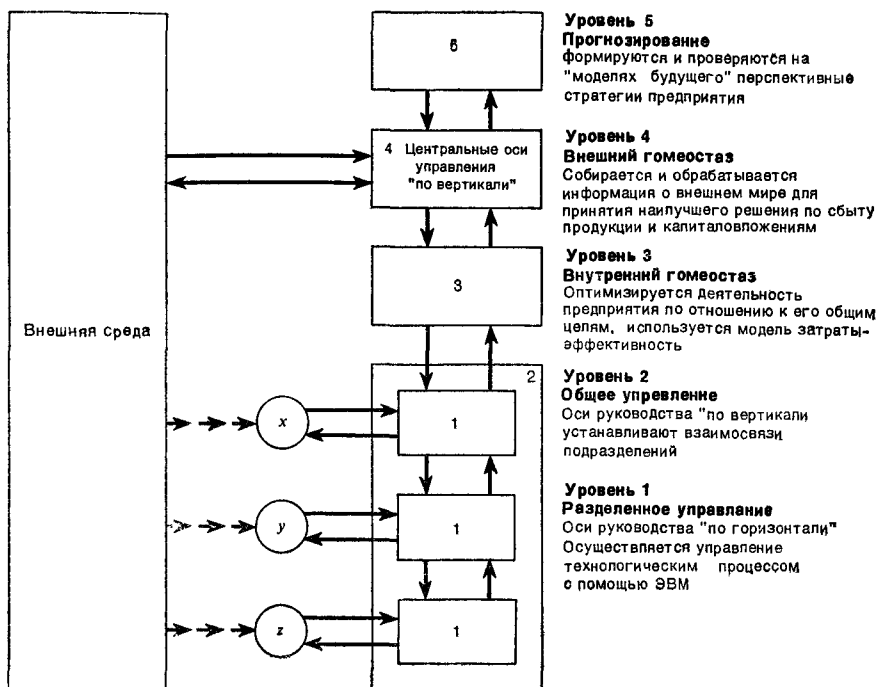


Рис. 19.2 Управление кибернетическим промышленным предприятием [47]. (Используется с разрешения.)

века и промышленным предприятием легко понять, если сравнить ступени управления деятельностью человека с приведенной здесь системой организационного управления. Модели каждой конкретной системы свойственны черты общесистемной модели в том смысле, как понимает данный термин Миллер [49]. Хотя каждая система и каждый уровень уникальны, «существует важная формальная общность между уровнями... которая может быть оценена количественно и наличие которой подтверждается экспериментально» [50].

Теория планирования Бира была разработана и применена как на уровне предприятия, так и на уровне страны в целом. Для последнего случая Бир разработал модель Cyberstride («скачок на основе кибернетического подхода»), примененную затем в сфере управления экономикой Чили во время правления президента Альенде [51].

Подход Бира приближается к эмпирическим подходам прикладной общей теории систем и современной теории проектирования систем. Читателю рекомендуется попытаться развить идеи Бира, для чего следует ознакомиться с рядом его публи-

каций, в которых кибернетические системы предлагается рассматривать рекурсивно. Опасения, связанные с голословными утверждениями об имеющемся якобы пагубном влиянии кибернетического управления Бира на проявления феномена свободы, будут обсуждены ниже. Собственно теория управления Бира рассматривалась в гл. 18.

## Технологическая оценка как процесс планирования

Концепция технологической оценки была выдвинута как подход к анализу социальных последствий технологических изменений. Такой подход является правомерным методом планирования и направлен на

- 1) оценку технологического прогресса, т.е. на оценку как выгод, так и отрицательных побочных эффектов использования тех или иных технологий;
- 2) анализ социотехнических систем, позволяющих учесть как общественные, так и личные интересы в той мере, в какой они затрагиваются при внедрении новой технологии;
- 3) анализ социального влияния, посредством которого описывается и точно отмечается влияние в целом технологии на общество;
- 4) оценку возможных технологических вариантов;
- 5) изучение будущих технологий, что называется технологическим прогнозированием;
- 6) управление и руководство технологиями, что в свою очередь включает:
  - а) определение потребности в проведении научно-исследовательских работ в целях создания новых технологий, соответствующих современным целям общества;
  - б) отбор новых технологий, создаваемых на основе современных достижений науки и техники;
  - в) смягчение отрицательных воздействий, вызванных существующими технологиями, и управление такими воздействиями [52].

Янч уже отмечал, что система природа — человек — общество — технология может быть разделена на шесть «биполярных» систем. Такие системы позволяют одновременно рассматривать взаимодействие двух из четырех основных элементов исходной системы. Приведем примеры биполярных систем, содержащих элемент «технология»:

природа — технология      человек — технология  
общество — технология

и систем, не включающих этого элемента:

природа — человек      человек — общество  
природа — общество

И наконец, экологическая система является метасистемой, или системой «высшего уровня абстракции», в рамках которой

можно оценить и изучить все другие системы и их комбинации [53]. Такое деление создает концептуальную основу для

- оценки «функции, выполняемой технологией в данных подсистемах»;

- сравнения вклада различных технологий в эти функции;
- применения «нормативного мышления к исследованию функций, обусловленных технологией (потребности, воздействия, побочные эффекты и т. д.)... и их влияния на систему ценностей человека» [54].

При замене элемента «природа» элементом «окружающая среда» учитываются четыре элемента: технология, общество, окружающая среда, индивидуум. Дальнейшее уточнение модели приводит к рассмотрению шести элементов: технологии, экономики, общества, индивидуума, окружающей среды, ценности и общественного содержания процесса формирования решения [55]. Согласно Гетмену, в технологической оценке как в процессе планирования можно выделить

1. *Познавательный подход.* На этом пути реальное технологическое знание получается путем соединения логических, физических, технических, технологических и социотехнических возможностей. Считается, что данный подход был предложен Сколимовским [56]. Термин «познавательный» связан с выяснением истинности знания: «Основные проблемы истины в науке сконцентрированы вокруг описания реальности в существующих теориях. Проблемы истины в технологии сконцентрированы вокруг понятия возможности в техническом смысле» [57].

2. *Проблемный подход.* Предложен Штрассером [58] и направлен на определение издержек и прибылей, соответствующих данной программе (рис. 19.3).

3. *Институционный подход.* Развита Бэрэмом [59] и делает упор на те элементы системы, которые ответственны за «рациональное планирование и формирование решений» и играют заметную роль при внедрении научных и технологических достижений.

4. *Целевой подход.* В его рамках исследуются:

- а) технологическая полезность;
- б) социальная релевантность;
- в) приемлемость технологических решений и их последствий с политической точки зрения (рис. 19.4).

В 1972 г. конгресс США принял закон о создании Управления по технологической оценке. Данная организация призвана обеспечивать членов конгресса информацией, позволяющей более эффективно рассматривать законопроекты, затрагивающие в той или иной степени технологические аспекты. Во время моей работы над книгой Управление по технологической оценке лишь организовывалось, но уже велись исследования по использова-

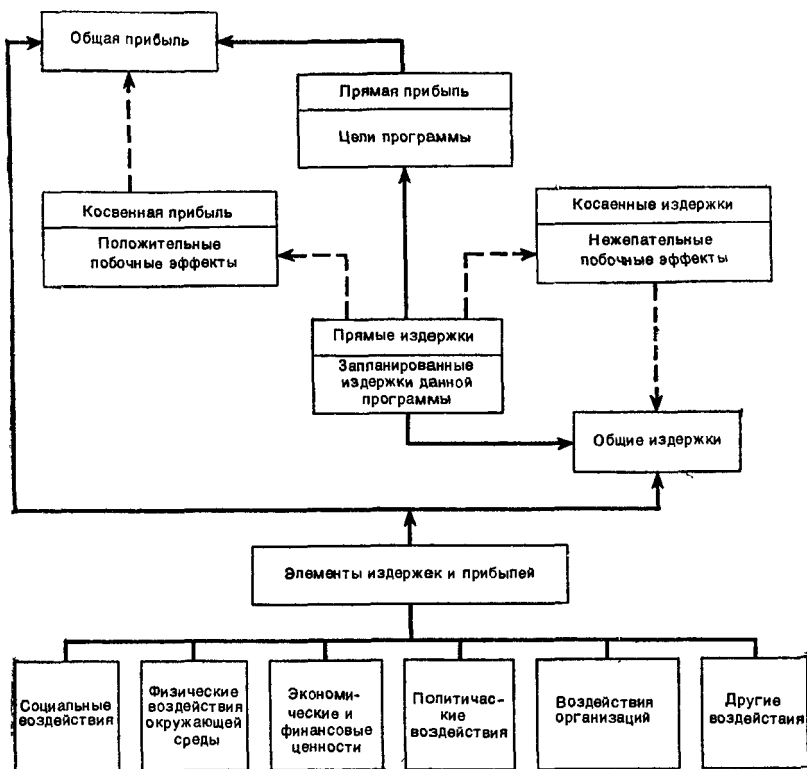


Рис. 193 Проблемный подход к технологической оценке. Заимствовано из работы Hetman F, Society and the Assessment of Technology, © 1973, Paris, OECD (Используется с разрешения)

нию ресурсов океана, солнечной энергии, в области здравоохранения и т. д. Принятие в 1969 г. Закона о национальной политике в области охраны окружающей среды также можно рассматривать как попытку узаконить проведение исследований возможных влияний реализации технических проектов на качество окружающей среды еще до одобрения этих проектов и до начала их реализации. «Главное ограничение эффективности всякого рода отчетов и заявлений относительно воздействий, оказываемых на внешнюю среду, и относительно технологической оценки состоит в том, что такие отчеты и заявления являются не законами, а лишь рекомендациями. В связи с этим они могут быть как действительно использованы, так и превратно истолкованы или вообще отвергнуты» [60]. Внедрению в практику технологической оценки, технологического прогнозирования



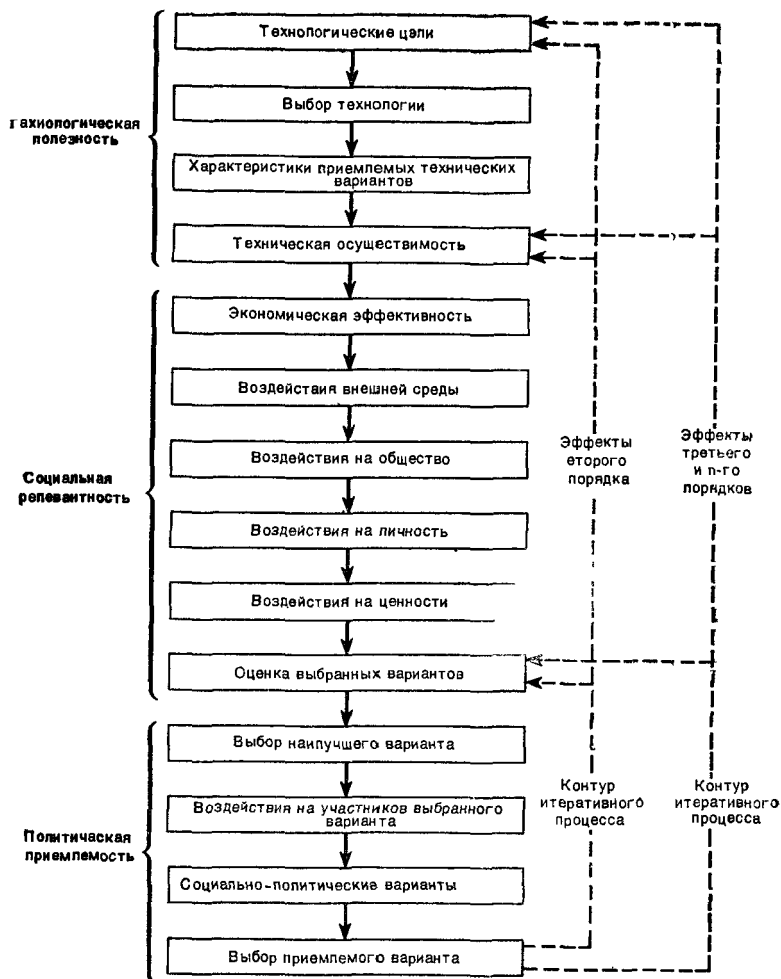


Рис. 194. Целевой подход к технологической оценке. Заимствовано из работы Hetman F, *Society and the Assessment of Technology*, Paris, OECD, 1973. (Используется с разрешения.)

или любой иной подобной теории планирования противятся те, кто апологетизирует стихийные силы рынка в конкурентной экономике. Таким образом, приходится бороться с мнением о недопустимости вмешательства человека и созданных человеком теорий в функционирование экономических механизмов [61]. Апологеты стихийности в экономике также считают, что свобода и планирование являются несовместимыми понятиями,

## Планирование и свобода

В работе [62] автор рассмотрел формы свободы, существующие в четырех современных системах планирования. *Благоприятные возможности* и *преграды*, усиливающие свободу или препятствующие ее существованию, зависят от предположений, сделанных лицом, которое осуществляет планирование, — планировщиком, а также от *условий*, превалирующих в реальной системе. Различные комбинации триады «предположения — условия — благоприятные возможности» порождают и различные формы свободы.

Предположения, имеющиеся у планировщика, могут относиться к его представлению о роли человека и различных общественных институтов в формировании окружающей среды. Представления о роли человека могут быть оптимистичными или пессимистичными в зависимости от способности человека управ-

Таблица 192

Представления о человеческой личности и условия, существовавшие в Древней Греции для двух исторических периодов

| V в. до н. э.                                                                                                                | IV в. до н. э.                                                                                                                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Представления о личности                                                                                                     |                                                                                                                                                       |
| Оптимистические                                                                                                              | Пессимистические                                                                                                                                      |
| Бескорыстность                                                                                                               | Эгоистичность                                                                                                                                         |
| Высокие моральные качества                                                                                                   | Проявление низменных стремлений                                                                                                                       |
| Разумные действия и суждения                                                                                                 | Беспочвенные утверждения                                                                                                                              |
| Заинтересованность в самосовершенствовании личности                                                                          | Личность должна быть подчинена внешнему контролю и управлению                                                                                         |
| Существующие условия как основа для проявления свободы                                                                       |                                                                                                                                                       |
| Равенство и права                                                                                                            | Неравенство                                                                                                                                           |
| Полное и равное участие в общественной жизни                                                                                 | Ограниченное участие, определяемое способностями и компетентностью                                                                                    |
| Вера в возможности личности, в ее свободное развитие                                                                         | Сдержанность и обязательность ие считаются достаточными качествами человека, гарантирующими от проявления слабости характера                          |
| Добровольное подчинение личности интересам общества                                                                          | Подчинение личности интересам общества обязательно и необходимо ради блага общества                                                                   |
| Самоопределение: если обстоятельства того требуют, личность подчиняется законам общества, но свободно определяет свою судьбу | Человек преследует эгоистические интересы, действия человека (свобода) должны быть подчинены ограничениям, накладываемым исходя из интересов общества |

лять своими внутренними побуждениями и от внешних условий. В табл. 19.2 приведены системы ценностей для разных исторических периодов Древней Греции [63].

Во времена Перикла и Сократа (V в. до н. э.) преобладал оптимистический взгляд на личность. Считалось, что люди в основном имеют высокие моральные качества, обладают здравым смыслом и стремятся к самосовершенствованию. Во времена Платона и Аристотеля (IV в. до н. э.) был распространен пессимистический взгляд на личность. Человек считался по своей природе эгоистичным, низменным, лживым. Управлять им можно лишь с помощью внешних мер принуждения. Такие два диаметрально противоположных взгляда на человека приводят и к различным концепциям свободы. При оптимистическом взгляде существуют равенство, реальные права, вера в возможности личности, самоопределение. Пессимистический взгляд влечет неравенство и ограничение участия личности в общественной жизни; поведение человека необходимо контролировать с целью подавления его эгоистических тенденций.

### Условия, существующие в системе планирования

Условия, существующие в системе, для которой проектируется та или иная форма свободы, можно классифицировать по следующим одиннадцати свойствам или критериям:

1) *рациональность* — выражает роль рассуждений и споров в системе планирования;

2) *равенство* — характеризует распределение благ среди членов системы;

3) *эксперты и элита* — их влияние находится в прямой зависимости от степени неравенства, свойственного системе;

4) *участие* — устанавливает степень, в которой личность может оказывать заметное влияние на дела общества;

5) *изменчивость* — показывает отношение к сохранению социальных установок, входящих в систему ценностей планировщика;

6) *управление* — доступно ли оно всем членам общества, элите или какой-либо группе, зависит от степени, в которой равенство является основой механизма распределения;

7) *чувствительность* системы — показывает, что потребности участников системы влияют на последнюю;

8) *конфликты* — дают представление о способе разрешения споров и согласования различных мнений;

9) *технология* — отображает конкретные формы искусственных систем, орудий труда, инструментов, методологий, возможностей, с помощью которых организуется жизнь человека;

10) *этика* системы — показывает соотношение «конечных благ» и интересов отдельного гражданина и государства в целом. Природа «конечного блага» зависит от системы ценностей личности, интересов государства или влияния отдельной группы:

11) *оптимум* системы — максимальное значение целевой функции системы. Для достижения оптимума в системе может быть организован процесс децентрализованного регулирования, в котором все системы формируют решения отдельно и каждая из них обеспечивает свой вклад в результаты всей системы в целом. Понятие процесса децентрализованного регулирования взято из экономики, где централизация и децентрализация описываются в терминах механизма распределения. Данный механизм оптимизирует благосостояние системы и балансирует благосостояния подсистем по отношению друг к другу. В рассматриваемых моделях планирования оптимум достигается либо путем принятия официальными лицами централизованных решений, либо путем учета влияния отдельных общественных группировок. Описание оптимума системы включает определение места приложения управления средствами (технологией) и результатами (целями).

Четыре системы планирования, для которых упомянутые предположения, условия, благоприятствующие возможности и препятствия достаточно изучены, приводят к следующим моделям: 1) либеральной, 2) консервативной, 3) с определенными правилами деловых операций, 4) социалистической.

Изучение данных моделей является интересным приложением цикла «очевидная реальность — миропонимание — система познания — истина», описанного в гл. 4. Напомним, что данная система показывает, как, отправляясь от одних и тех же очевидных фактов реального мира, планировщики могут сформировать различные стратегии в зависимости от своего миропонимания. Миропонимание подразумевает определенный склад ума, который формируется предположениями, ценностями и стилем познания.

Исследование моделей позволило сделать следующие выводы:

1. Формы свободы можно планировать.

2. Как и ожидалось, предположения планировщика и условия, существующие в четырех системах, приводят к четырем различным взглядам на то, где искать рациональный уровень в свободе планирования. Каждая система предлагает свое собственное понимание данного феномена. Что же касается планировщиков, то, по их мнению, свобода существует в каждой из четырех вышеупомянутых систем,

3. Нет никакого принципиального противоречия между планированием и свободой. Усиление роли планирования не связано обязательно с уменьшением степени свободы. Скорее различные типы планирования приведут к различным типам свободы. Следовательно, споры о том, какая из систем обеспечивает большую или меньшую степень свободы, не могут быть разрешены [в рамках формальных рассуждений, без исследования базовых социальных аспектов. — *Перев.*].

4. Каждая система может обосновать тип свободы, существующий в ней, в терминах согласия между предположениями разработчиков системы и убеждениями тех, кому система предназначена. Каждая система может потребовать совместимости между системой ценности своих учредителей и условиями, превалирующими в системе [64].

Некоторые из этих выводов противоречат взглядам Грабова, Хескина и др., которые считают, что «даже если современное планирование и может чего-то достичь, все же оно несовместимо со свободой человека» [65]. Исходя из классификации автора, данное утверждение необходимо модифицировать с тем, чтобы учесть условия, существующие в системе планирования, и предположения планировщика. Форма, принимаемая феноменом свободы, зависит от условий, превалирующих в системе планирования, и от предположений, имеющих у ее создателей. Совместимость же или несовместимость свободы с планированием зависит от согласованности предположений и ценностей наблюдателя и планировщика. Следовательно, форма, которую примет свобода, находится в руках тех, кто может влиять на миропонимание планировщиков. Необходимо специально отметить, что «форма, принимаемая свободой», зависит также и от той степени, в которой каждый индивидуум может участвовать в процессе планирования как планировщик.

### Другие взгляды на процесс планирования

Грабов и Хескин считают, что современное планирование обладает следующими чертами:

1. *Элитарностью.* Планирование осуществляется небольшим количеством компетентных лиц

2. *Централизацией.* Современное планирование требует управления всеми видами деятельности, что ведет к централизации. Для надежного прогнозирования необходимо полно учитывать возможные социальные изменения.

3. *Сопротивлением изменениям.* Непредсказуемые изменения неуправляемы и являются нежелательными [65].

Призыв этих ученых к созданию «радикальной» концепции планирования, которая исходила бы из «главенствующей роли изменений, приводящих к децентрализации общества, процесса

его развития, его этических норм», эквивалентен призыву к изменению предположений планировщика и условий, существующих в системах планирования, соответствующих вышеупомянутой таксономии. Выбор единства или анархии, централизации или децентрализации, автоматизма или творчества, рациональности или иррациональности, сотрудничества или конкуренции и т. д. является вопросом выбора своей позиции в спектре возможностей по каждому измерению, определяющему систему

|                      |                            |
|----------------------|----------------------------|
| Анархия              | Единство                   |
| Поверхностные знания | Умелое обращение           |
| Децентрализация      | Централизация              |
| Хаос                 | Управление                 |
| Творчество           | Автоматизм                 |
| Субъективность       | Объективность              |
| Иррациональность     | Рациональность             |
| Антитезис            | Тезис                      |
| Сотрудничество       | Конкуренция                |
| Риск                 | "Максимальное равновесие"  |
| Неопределенность     | "Минимальное неравновесие" |
| Судьба               | История                    |
| Диалектика           | Равновесие                 |

Рис. 19.5 Крайние точки спектра некоторых решений, которые могут быть приняты участниками процесса планирования. Заимствовано из работы Grabow S., Heskin A., Foundations of a Radical Concept of Planning, *Journal of the American Institute of Planners* 39, 2, 110—111 (March 1973). (С разрешения *Journal of the American Institute of Planners*.)

планирования [66]. Выбор таких позиций является прерогативой потребителей, или заказчиков системы планирования, но лишь в том случае, когда они располагают средствами влияния на планировщиков и возможностями формирования их миропонимания (рис. 19.5).

Блэкбёрн проанализировал связь между планированием и свободой в модели, в которой он попытался олицетворить феномен свободы в обществе [67]. Он постулировал, что свобода «есть мера доступности для индивидуума всей совокупности возможностей»<sup>1)</sup>. Индивидуум «свободен», когда ему доступно большое число вариантов и «не свободен», когда доступ ограничен (малое число вариантов). Понятие «большое число»

<sup>1)</sup> Определение свободы индивидуума без учета его принадлежности к классу (в классовом обществе) является фиктивным, лишенным смысла. — *Прим. ред.*

(«малое число») не требуется определять более точно, поскольку мы рассматриваем лишь степень, в которой доступ к вариантам упрощается или преграждается. Таким образом, нас интересует лишь качественная сторона наличия благоприятствующих возможностей или преград на пути реализации конкретной формы свободы.

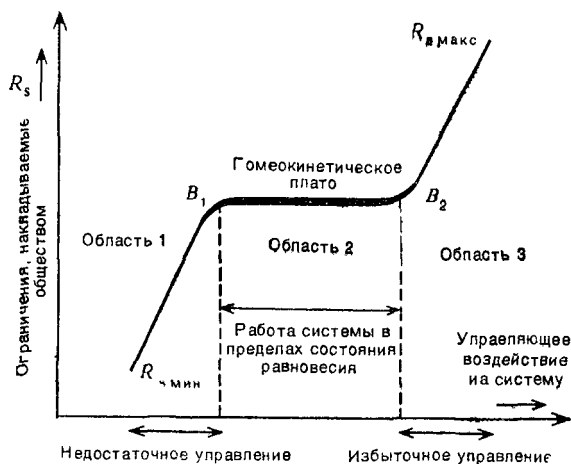


Рис. 19.6. Необходимые и достаточные ограничения, налагаемые обществом для поддержания системы в рамках границ живучести (сравните с рис. 18.5)

Свобода в основном подвержена влиянию ограничений, имеющих форму законов. Ограничения могут также быть результатом приверженности определенным нормам и традициям. Общественное мнение также оказывает здесь свое влияние. Ограничения, налагаемые обществом, мы обозначим  $R_s$ . Их целью является ограничение доступа всех членов общества к определенным вариантам действий. Из графика, представленного на рис. 19.6, можно видеть, что имеются минимальное значение  $R_s$ , когда управление со стороны общества отсутствует, и максимальное значение — на другом краю спектра, — когда управление слишком жесткое.

1. Не существует никакого организованного общества вне каких-либо форм управления своими членами. Таким образом, общество с величиной  $R_s = 0$  не жизнеспособно.

2. В случае максимальной величины  $R_s$  деятельность каждого индивидуума была бы всесторонне регламентирована, следовательно, общая мера свободы  $T_F$  имела бы нулевое значение и общество не могло бы существовать. Отдавая должное Блэк-бёрну, необходимо сказать, что его модель учитывает иной тип

ограничений — ограничения, налагаемые индивидуумами друг на друга [68].

3. В данной модели цель планирования состоит в удержании общества на плато, где величина  $R_s$  постоянна, т. е. ограничения, налагаемые обществом, неизменны. Количество вводимых ограничений должно быть таким, чтобы обеспечить лишь минимально необходимое руководство поведением человека. Это количество соответствует нижней границе планирования  $B_1$ . Верхней же границе  $B_2$  соответствует максимально возможное управление, которое может быть введено без риска ограничить доступ к вариантам до уровня, недостаточного, по мнению общества, для своего нормального функционирования. Итак,  $B_1$  и  $B_2$  могут быть названы *необходимой* и *достаточной* границами соответственно, т. е. они показывают необходимую и достаточную величины управления, которые должны быть учтены при планировании для обеспечения нормального функционирования системы. В ограниченной ими области колебания системы если и имеют место, то находятся в допустимых рамках. Величина и вид обратной связи, используемой для реализации управления, определяют три различные области, свойства которых указаны в табл. 19.3. Более подробно вопросы, связанные с управлением и обратной связью в системах, рассматривались в предыдущей главе.

Таблица 19.3

Величина управления, обратная связь и условия устойчивости в трех областях социального планирования

|                                          | Область 1      | Область 2                 | Область 3       |
|------------------------------------------|----------------|---------------------------|-----------------|
| Величина управления                      | Недостаточная  | Необходимая и достаточная | Чрезмерная      |
| Ограничения, налагаемые обществом, $R_s$ | Минимизируются | Постоянны                 | Максимизируются |
| Обратная связь                           | Положительная  | Отрицательная             | Положительная   |
| Устойчивость состояния                   | Неустойчивое   | Жизнеспособное равновесие | Неустойчивое    |

### Свобода в кибернетической системе

Согласно Биру, чью теорию планирования мы рассмотрели выше, мера планирования и мера свободы, закладываемые в систему, обуславливаются кибернетической точкой зрения на систему. Разработка вопросов, связанных со свободой, является не



столько нравственной проблемой, сколько проблемой жизнеспособности или живучести системы [69]. Таким образом, если свободы слишком много, система разрушится из-за недостаточного управления ею. Такое положение ведет систему к гибели, т. е. к переходу ее в состояние с максимальной энтропией. В случае же излишнего управления система утратит способность к адаптации. Итак, проектировщик системы стоит перед необходимостью вычисления (т. е. планирования) меры свободы, которая согласуется с требованием выживаемости системы и с целями, поставленными перед системой обществом [70].

Говоря словами Бира, «степень автономности, степень централизации управления являются функциями жизнеспособности... Разделяя уровни рекурсии (т. е. обратную связь) и сохраняя свободу для каждого независимого проектируемого гомеостата (т. е. уровня управления), можно достигнуть совместности максимума автономности и эффективной организации» [71].

Планирование здесь состоит в исследовании возможных в будущем последствий наших сегодняшних действий. Свобода предполагает возможность выборов пути будущего развития. «Наука об эффективной организации... называемая кибернетикой, идет рука об руку с науками, имеющими дело с понятием свободы» [72].

## Заключение

Обзор различных теорий планирования показывает, что планирование является составной частью процесса проектирования систем, которому по существу и посвящена данная книга. Рассмотренная общесистемная теория планирования охватывает собственно планирование и его непосредственное окружение как части единой экосистемы — системы высшего уровня общности. Данная теория связана с теориями, которые интерпретируют планирование с позиций эволюции, науки о поведении, кибернетики и технологической оценки. В заключение мы можем сделать вывод, что планирование и свобода являются вполне совместимыми, не противоречащими друг другу понятиями.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Friedmann J., Hudson B., *Knowledge and Action: A Guide to Planning Theory, Journal of the American Institute of Planners*, 40, 1, 2—16 (January 1974).
2. Там же, с. 2.
3. Mannheim K., *Man and Society in an Age Reconstruction*, Harcourt Brace Jovanovich, New York, 1949.
4. Von Hayek F. A., *The Road to Serfdom*, Routledge and Kegan Paul, London, 1944.

5. Popper K. R., *The Open Society and Its Enemies*, Routledge and Kegan Paul, London, 1945.
6. Dahl R. A., Lindblom D. E., *Politics, Economics and Welfare*, Harper and Row, New York, 1953.
7. См. гл. 6, 13 и 14 данной книги.
8. Ackoff R. L., *Redesigning the Future*, Wiley, New York, 1974.
9. Friedman J., Hudson B., см. п. 1, с. 7. Данные авторы рассматривают работу Эциони: Etzioni A., *Toward A Theory of Societal Guidance*, Heidt S., Etzioni A. (eds.), *A New Approach to Social Problems*, Crowell, New York, 1969, p. 7—31. По этому вопросу см. также Etzioni A., *The Active Society: A Theory of Society and Political Processes*, The Free Press, New York, 1968.
10. Там же.
11. Rice A. K., *Productivity and Social Organization: The Ahmedabad Experiment*, Tavistock, London, 1958.
12. Emery F. E., Trist E. L., *Socio-Technical Systems*, in Churchman C. W., Verhulst M. (eds.), *Management Sciences, Models and Techniques*, Pergamon Press, Elmsford, New York, 1960, pp. 83—97; Emery F. E., Trist E. L., *Socio-Technical Systems*, in Frank E. (ed.), *Organization Structuring*, McGraw-Hill, New York, 1971, ch. 4.
13. Friedmann J., *Retracking America: A Theory of Transactive Planning*, Doubleday, Garden City, New York, 1973.
14. Kalba K., *Postindustrial Planning: A Review Forward*, *Journal of the American Institute of Planners*, 40, 3 (May 1974).
15. Bell D., *The Coming of Post-Industrial Society*, Basic Books, New York, 1973.
16. Jantsch E., *Forecasting and the Systems Approach*, *Management Science*, 19, 12, 1355—1367 (August 1973).
17. Ackoff R. L., *Redesigning the Future*, Wiley, New York, 1974.
18. «Путаница и беспорядок» в трактовке Акоффа — это «набор подлежащих решению задач»
19. См. п. 17, с. 22—29.
20. Beer S., *The World We Menage*, *Behavioral Science*, 18, 3, 198—209 (May 1973); Beer S., *Platform for Change*, Wiley, New York, 1975, pp. 399—416.
21. Dror H., Yohezel I., *Design for Policy Sciences*, Elsevier, Amsterdam, 1971.
22. Bennis W. G., *Organization Development: Its Nature, Origins and Prospects*, Addison-Wesley, Reading, Mass., 1969.
23. Friedman J., Hudson B., см. п. 1, с. 11.
24. Grabow S., Heskin A., *Foundations for a Radical Concept of Planning*, *Journal of the American Institute of Planners*, 39, 2, 106—114 (March 1973).
25. Ozbekhan H., *Towards a General Theory of Planning*, in Jantsch E. (ed.), *Perspectives of Planning, Organization for Economic Cooperation and Development (OECD)*, Paris, 1969, pp. 46—155; Ozbekhan H., *Planning and Human Action*, in Weiss P. (ed.); *Hierarchically Organized Systems in Theory and Practice*, Hefner, New York, 1971, pp. 123—230.
26. Ozbekhan H., *Towards a General Theory of Planning*, см. п. 25, с. 95.
27. Определение, приписываемое Чёрчмену Янчем в его работе *Synopsis of Papers and Discussions*, in *Perspective of Planning*, OECD, Paris, p. 29.
28. Ozbekhan H., *Towards a General Theory of Planning*, см. п. 25, с. 112.
29. Там же, с. 76.
30. Там же, с. 154.
31. См. гл. 1 и 13 данной книги.
32. Ozbekhan H., см. п. 25, с. 152.
33. См. гл. 7 данной книги.

34. Ozbekhan H., см. п. 25, с. 91.
35. Там же, с. 146. Ozbekhan H., The Predicament of Mankind, in Churchman C. W., Mason R. O. (eds.), World Modeling: A Dialogue, Elsevier, New York, 1976, pp. 11—25.
36. Ackoff R. L., Institutional Functions and Societal Needs, Perspectives of Planning, OECD, Paris, 1969, pp. 495—500; см. также Ackoff R. L., Emery F. E., On Ideal Seeking Systems, *General Systems*, 17, 17—24 (1972); Ackoff R. L., Emery F. E., On Purposeful Systems, Aldine, Chicago, 1972.
37. Laszlo E., The Systems View of the World, Braziller, New York, 1972, pp. 49—75.
38. Если не оговорено специально, цитируется по работе Skinner B. F., Beyond Dignity and Freedom, Bantam Books, New York, 1971.
39. Skinner B. F., Answers to My Critics, Wheeler H. (ed.) Beyond the Punitive Society, Freeman, San Francisco, 1973, pp. 256—266. Все последующие цитаты в разделе взяты из данной работы.
40. Beer S., Platform for Change, Wiley, New York, 1975, p. 381.
41. Там же, с. 36
42. Там же, с. 427.
43. Beer S., Decision and Control, Wiley, New York, 1966, p. 289.
44. Ashby W. R., Design for a Brain, Chapman and Hall, London, 1954.
45. Beer S., Platform for change, Wiley, New York, 1975, p. 428.
46. Там же, с. 426.
47. Beer S., The Aborting Corporate Plan: A Cybernetic Account of the Interface between Planning and Action, Jantsch E. (ed.), Perspectives in Planning, OECD, Paris, 1969, pp. 397—422; Beer S., Brain of the Firm, Herder and Herder, New York, 1972.
48. Там же, с. 412.
49. Miller J. C., Living Systems: Basic Concepts, *Behavioral Science*, 10, 193—237 (1965).
50. Miller J. G., The Nature of Living Systems, *Behavioral Science*, 20, 6, 343 (November 1975).
51. Beer S., Fanfare for Effective Freedom: Cybernetic Praxis in Government; Platform for Change, см. п. 20, с. 421—452.
52. Hetman F., Society and the Assessment of Technology, OECD, Paris, 1973; см. также Medford D., Environmental Harassment or Technology Assessment, Elsevier, New York, 1973.
53. Jantsch E., Integrative Planning of Technology, Jantsch E. (ed.), Perspectives of Planning, OECD, Paris, 1969, pp. 177—200; см. также Jantsch E., Technological Planning and Social Futures, Cassell/Associated Business Programmes, London, 1972, p. 37. [Имеется перевод: Янч Э. Прогнозирование научно-технического прогресса. — М.: Прогресс, 1974.]; Jantsch E., Forecasting and Systems Approach: A Frame of Reference, *Management Science*, 19, 12, 1355—1367 (August 1973).
54. Jantsch E., Integrative Planning of Technology, см. п. 53, с. 182.
55. Committee on Science and Astronautics, U. S. House of Representatives, Technology, Processes of Assessment and Choice, Washington D. C., July 1969.
56. Skolimovski H., Towards a Humanistic Technology, Research Management (September 1971).
57. См. п. 52, с. 94.
58. Strasser G., Methodology for Technology Assessment-Experience in the United States, *OECD Seminar on Technology Assessment*, 26—28, (January 1972).
59. Baram M. S., Law and the Social Control of Corporate Technology, M. I. T. Press, Cambridge, Mass, 1972.

60. Brown G. E., Jr., Technology, Forecasting, and Assessment, IEEE Systems, Man and Cybernetics Society, Newsletter, 4, 5—6 (October — December 1973), pp. 9—13.
61. Там же, с. 11.
62. Van Gigch J. P., Planning and Freedom, *Management Science*, 22, 9, 949—962 (May 1976); Eilon S., Planning and Freedom Editorial; OMEGA, *The International Journal of Management Science*, 4, 5 (1976); Van Gigch J. P., A Management Science Approach to Planning Freedom — A Rejoinder, OMEGA, *The International Journal of Management Science*, 5, 1 (January 1977).
63. Pohlenz M., Freedom in Greek Life and Thought: The History of an Ideal, The Humanities Press, New York, 1966.
64. См. п. 62.
65. Grabow S., Heskin A., Foundations of a Radical Concept of Planning, см. п. 24.
66. Я благодарен А. Хескину за советы, которыми я воспользовался при воспроизведении рис. 19.5.
67. Blackburn J. D., Planning and Freedom, Scholl of Business and Public Administration, California State University at Sacramento, Sacramento, January 1973.
68. Блэкбёрн обозначает второй тип ограничений через  $R_l$  и постулирует, что общий объем свободы в системе является функцией двух существующих ограничений. Далее  $R_s = \min$ , когда  $R_l = \max$  и  $R_s = \max$ , когда  $R_l = \min$ . Итак, на обоих краях спектра  $T_F = 0$ ;  $T_F$  максимизировано в области между  $B_1$  и  $B_2$ , как и следовало из нашего обсуждения (см. рис. 19.6).
69. Beer S., Fanfare for Effective Freedom: Cybernetic Praxis in Government, см. п. 51, с. 428. См. также Beer S., *Designing Freedom*, Wiley, New York, 1974.
70. Там же.
71. Там же, с. 442.
72. Там же, с. 445, 451.

# КРИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ, ПРОБЛЕМЫ И БУДУЩЕЕ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА

## Введение

На заключительном этапе процесса проектирования систем естественно провести оценку полученных результатов. В данной главе мы рассмотрим потребности, для удовлетворения которых и был разработан системный подход, и дадим обзор достигнутых практических результатов. Трудности, стоящие на пути реализации системного подхода, или прикладной общей теории систем, носят методологический характер. Существуют причины как для пессимизма, так и для оптимизма, и это является стимулом для дальнейшей работы в данной области.

## Потребности, подлежащие удовлетворению

Системный подход был создан для удовлетворения следующих потребностей.

### Потребность в обобщении

Системный подход дает концептуальную основу для изучения процессов в различных сферах жизни. Системное мышление способствует перенесению идей, теорий и методов решения из одной области знаний в другую, а также позволяет проводить широкое и перспективное исследование проблем. Наука должна придерживаться золотой середины. Она должна избегать, с одной стороны, излишней специализации, ведущей к узости мышления и даже бесплодности рассуждений. С другой стороны, следует опасаться и недостаточной специализации, так как результатом этого могут быть легковесность суждений и недостаточная глубина исследований.

### Потребность в упрощении и сложности

Существует насущная потребность обеспечить планировщика, государственного деятеля, руководителя методами работы в условиях постоянного увеличения сложности решаемых ими за-

дач. Понимание феномена сложности и соответствующее отношение к нему важны на всех уровнях, при решении всех задач и при учете всех ограничений и взаимозависимостей. При фокусировании же внимания на реальных целях такое понимание представляет собой самую насущную и неотложную задачу, решение которой обуславливает успех использования системного подхода. Мы уже предостерегали читателя от искушения давать простые или упрощенные ответы на сложные вопросы. Простых ответов на сложные вопросы, как правило, не существует. Путь к истине лежит не через упрощение, а скорее через расширение наших способностей разрабатывать рациональный подход к сложным проблемам.

### **Потребность в объединении**

Одной из задач системного подхода является обеспечение совместной согласованной работы всех подсистем, направленной на достижение целей системы в целом. Данное стремление, подобно первому шагу — обобщению, может натолкнуться на ряд препятствий. Потребности частей и подсистем должны удовлетворяться исходя из главной задачи — удовлетворения потребностей системы в целом. Кто же должен решать, действительно ли цели системы в целом имеют более высокий приоритет, чем цели подсистем? Даже если мы разрешим эту проблему соотношения целей и приоритетов, все же остаются серьезные сомнения в нашей способности достичь *summit bonum*.

### **Потребность в оптимизации**

Человек, по нашему убеждению, всегда стремится к улучшению своего благосостояния. В поисках экономического благополучия он иногда пренебрегает социальным благополучием, и своим, и своих соседей. Все более тесная связь между системами требует, чтобы каждый индивидуум учитывал не только свое собственное благополучие, но и то, как его действия повлияют на положение других лиц. В попытках оптимизировать свою собственную систему он должен принимать во внимание оптимизацию и других систем, его окружающих. Решение проблемы оптимизации отнюдь не разрешает проблемы субоптимизации; ее исследование приводит к интересным методологическим проблемам.

### **Потребность в оценивании**

ЛПР должны принимать решения, исходя из имеющейся у них информации. Центральной проблемой при рациональном формировании решения является получение информации,

позволяющей осуществлять прогнозирование поведения исследуемой системы и результатов ее работы при различных стратегиях управления. Более того, когда мы сталкиваемся с необходимостью произвести выбор, мы должны иметь в своем распоряжении информацию, позволяющую сравнивать самые различные характеристики системы.

Системный подход предлагает широкий набор методов измерений и процедур оценки вариантов и результатов их реализации. Количественные построения и измерения в области общественных наук все еще оставляют желать лучшего. Мы быстро узнаем, что далеко не все может быть измерено одинаково хорошо и что в зависимости от природы измеряемой сущности необходимо придерживаться различных стратегий измерения.

### **Потребность в планировании**

Очень быстро становится очевидным, что, если мы не составим плана своих действий, сложность системы поглотит нас. Мы в своей деятельности постоянно колеблемся между риском, сопряженным с планированием, и опасностью, связанной с его отсутствием.

### **Потребность в управлении**

Организации — это открытые системы, которыми нельзя управлять, как неживыми системами, лишь путем введения контуров обратной связи. Мы должны приучаться к управлению, использующему саморегулирование и содержащему встроенные стимуляторы и элементы мотивации, которые обеспечивают движение системы в направлении, указанном задатчиком цели. С позиций теории решений и теории управления это подразумевает выбор органом управления оптимального движения системы. С точки зрения умственной работы это означает осуществление выбора из всего множества вариантов. Что же касается этического аспекта вопроса, то необходима совместная оценка целей собственно системы и их задатчика. Говоря иными словами, кто может оценить тех, кто сам выполняет функцию оценки? Системный подход должен давать ответы на все такие вопросы и удовлетворять все подобные потребности.

### **Пессимизм и оптимизм**

Теперь уместно задать следующий вопрос: действительно ли системный подход и системная парадигма оправдают надежды тех, кто думает, что развитие данных методологических направлений позволит нам продвинуться в решении наших проблем, в частности социальных?

В обзоре, посвященном успехам в области общественных наук и использованию системного подхода, Хуз соразмеряет оптимизм с пессимизмом потому, что

[общественные системы] не поддаются строгому определению по своим целям, философии и масштабам... Исчерпывающее и строгое решение социальных проблем никогда не достигается... Несмотря на видимость точности, нет ни совершенно верных, ни совершенно неверных решений. Следовательно, нельзя считать неправильным все, что делается на практике в настоящее время в данном направлении, и правильным то, что хорошо выглядит в теории [1].

Эффективных способов оперирования феноменом сложности — этим самым важным элементом системного анализа... до сих пор не существует. Наоборот, по мере увеличения сложности системы наша способность формировать точные и в то же время достаточно общие решения, касающиеся поведения системы, уменьшается. В конце концов точность и общность решения становятся почти взаимоисключающими характеристиками. Именно в этом смысле точный количественный анализ поведения систем, включающих человека, имеет, по-видимому, мало общего с реальными общественными, политическими, экономическими проблемами, затрагивающими либо отдельных лиц, либо группы людей [1].

Ответы на следующие вопросы, поставленные Ривлин, способствуют формированию иного взгляда на достижения и неоправдавшиеся надежды<sup>1)</sup>.

1. Кто выигрывает и кто теряет? «Значительный прогресс был достигнут в вопросах выделения и количественной оценки социальных проблем в обществе». Применение системного анализа улучшило наши знания о сравнительных затратах на решение социальных проблем и о выгодах, получаемых от их решения. Пессимизму, связанному с «трудностью собственно определения проблемы, установления целей и значения проблемы», можно противопоставить следующее замечание. Еще до того, как достигнуто полное согласие о конечных целях, у нас уже имеется достаточное согласие в выборе желательного направления изменений: «Мы можем по меньшей мере понять, каковы же пути движения к целям, нами избранным» [2].

2. Какое решение является наилучшим? «Весьма скромные успехи были достигнуты в решении вопроса о сравнении выгод, полученных при реализации различных социальных программ» [3]. Работая с многими программами, вариантами, заказчиками, мы испытываем потребность в строгих методах для сравнения затрат и прибылей различных программ, для назначения сравнительных ценностей целей. Мы показали, каковы направления достижения этих целей. Мы, однако, также предостерегали от излишнего доверия к количественным методам при работе с проблемами ценностей, при формировании групповых

<sup>1)</sup> Rivlin A. M., Systematic Thinking for Social Action, © 1971. (С разрешения автора и Brookings Institution, Washington, D. C.)



мнений, при решении политических проблем. Мы все еще не знаем, как сопоставлять ценности, приписываемые людьми различным программам здравоохранения, образования, жилищного строительства и т. д. Методы достижения согласия открывают здесь новые горизонты.

3. Что движет ходом событий? «Мало известно о том, как сформировать более эффективные программы» [4]. Неудачными оказались попытки предугадать воздействие социальных программ на тех, для кого они предназначены, или сравнить выгоды от программ в целях улучшения распределения ресурсов между ними. Одна из главных причин этих неудач кроется в недостатке информации. Информация о том, «что же движет ходом событий и какими факторами можно пренебречь», не может быть получена с помощью современных информационных систем. Ривлин утверждает, что нам нельзя пренебрегать ни «случайными находками», ни «систематическими экспериментальными данными» при сравнении «различных путей реализации программ». Это было бы также полезно, например, при формировании программ со встроенными органами обеспечения и управления. Такая информация поступала бы естественным путем по мере реализации программы. К сожалению, «эксперименты здесь зачастую весьма сложны или даже аморальны» [5].

4. Что же мы знаем? Задавая данный вопрос, мы пытаемся определить: а) действительно ли нам известно, как поставить и оценить конкретные типы задач и различные пути их решения; б) действительно ли мы учитываем стремления и желания тех, для кого предназначены программы. Ответ на эти вопросы обескураживает. Единственное, что мы сделали в этом отношении, лишь «вызвали новый поток вопросов, не найдя на них ответов».

Что изменилось, так это наше собственное восприятие нашего незнания. Мы сейчас знаем, что мы многого не знаем. .. В этом суть. Без знания того, как построить более эффективные источники информации или как люди будут реагировать на изменения в социальной стратегии, ученые не смогут ничего сделать в области формирования решений по социальным вопросам [6].

5. Подотчетность кому и каким образом? Мы знаем, что социальные программы оказывают серьезное влияние на тех, для кого они предназначены. Разработчики программ по существу вносят свои изменения в общественный порядок. Они влияют на организации, механизм управления, рыночные механизмы и т. п. Следовательно, мы должны гарантировать более, чем когда-либо, чтобы создатели программ отвечали за результаты своей деятельности и за изменения, которые они вызывают. К сожалению, согласия относительно того, как измерять результаты в области общественного блага, пока не достигнуто.

Легко говорить о необходимости ответственности работников служб образования и здравоохранения за свою деятельность перед теми, кто является потребителем этих служб. Но трудно разработать удовлетворительную систему показателей для вынесения точного решения, что и кому следует воздать за его работу [7].

Мы склонны к колебаниям от пессимизма к оптимизму: оптимизм связан с некоторым прогрессом в решении проблем, стоящих перед обществом и перед нами, пессимизм объясняется недостаточностью этого прогресса и постоянным усложнением проблем. Некоторые оправдывающие такое положение обстоятельства можно выявить при рассмотрении проблем, возникающих при использовании системного подхода.

## **Проблемы, связанные с использованием системного подхода**

Именно на общественные науки всегда возлагалась ответственность разрубать гордые узлы общественной жизни. Чтобы это стало возможным, общественные науки должны аккумулировать знания обо всех областях человеческой деятельности. Системный подход вместе с системной парадигмой предлагает процедуру планирования, проектирования, оценки и реализации решений задач, имеющих системный характер.

Системная концепция позволяет сформировать общую основу для изучения различных систем: «В соответствии с системной концепцией главным критерием функционирования является конечный результат, получаемый при учете всего набора ресурсов, привлекаемых для достижения заданной цели» [8].

Рациональное зерно данной книги заключается в предположении, что все системы не только подобны по структуре и организации, но также имеют общие проблемы, трудности, цели.

Вот список основных проблем, имеющих важное значение при реализации системного подхода: оперирование феноменом сложности; оптимизация и субоптимизация; противоречие между централизацией и децентрализацией; количественное определение и измерение; обобщение и формирование рациональных методов исследования в области техники, экономики, права, политики и социологии; изучение жестких систем в сравнении с мягкими; соотнесение теории и действия на ее основе; этические аспекты проектирования и реализации систем; реализация систем; достижение согласия; соотнесение постепенных улучшений и принципиальных нововведений; проблемы, связанные с информацией и управлением; стремление к «идеалу», исходя из возможности «реального варианта идеала»; планирование, обучение и экспертиза.

Рассмотрим некоторые из перечисленных проблем.

## Рациональные методы

Действие или процедура являются рациональными, если они согласуются, являются совместимыми со сформулированными априори предположениями, аксиомами и предпосылками [9]. Рациональные методы в экономике основываются на предположениях и предпосылках экономической теории. Стратегия экономического поведения рациональна, если она согласуется с положениями экономической теории, т. е. если результаты ее применения находятся в рамках наперед вычисленных величин прибылей и затрат. Для того чтобы метод был рационален в технической области, он должен быть обоснован экспериментально и строиться на основе общепризнанных научных принципов. Рациональность в области права связана с установленными нормами законодательства и юриспруденции. Рациональность в общественной области определяется социальными ценностями и нормами, в области политики — силой и влиянием общественных течений.

Мы считаем, что решения проблем мягких систем должны удовлетворять требованиям технической, экономической, правовой, общественной и политической рациональности. Очевидно, что мы еще не можем оценить стратегию по всем критериям, равно как и построить систему, учитывающую все критерии при формировании решения [10—12]. В лучшем случае мы линейно упорядочиваем стратегии по их технической реализуемости и находим приемлемый компромисс для всех иных требований.

## Сложность

Системный подход пытается оперировать в рамках понятий сложности систем, реальности моделей и «решаемости» проблем. Вудучи упрощенной, задача теряет в реальности своей постановки, но становится обозримой, допускающей решение. Повышая реальность модели, мы приходим к более сложной для решения задаче.

Ученый находится между двумя крайностями. Он старается расширить горизонты для построения правдоподобных моделей мира, т. е. стремится к реализму. Он расширяет и границы своих систем с целью оптимизации на высшем системном уровне, т. е. стремится к сложности. В то же время он намерен остаться в рамках рациональности, т. е. хочет сохранить задачу в виде, пригодном для решения.

## Оптимизация и субоптимизация

В гл. 13 и 14 мы обсуждали проблемы, возникающие при оптимизации сложных систем. Мы предложили определенные принципы и соображения, учет которых позволяет приближать-

ся к оптимуму. Хотя наши соображения и принципы не были строго сформулированы математически, на их основе было произведено вполне удовлетворительное назначение целей подсистем, согласующихся с целями системы в целом. При достижении оптимума системы в целом не все подсистемы достигают своих частных оптимумов. Не надо поэтому ожидать, что объединение подсистемных оптимумов приведет к общесистемному оптимуму. Более того, если подсистемы лишь субоптимизированы, но тенденция стремления их к общесистемному оптимуму имеет место, то они совместно приведут систему ближе к ее оптимуму, чем если бы они по отдельности оптимизировали свои собственные состояния. Алгоритм декомпозиции является хорошим примером использования местными органами управления общего ресурса, но под руководством центрального органа управления. Наконец, выбор между оптимизацией и субоптимизацией приводит к проблеме выбора между использованием централизованных и децентрализованных систем управления.

### Централизация и децентрализация

Системный подход требует, чтобы блоки формирования решений были объединены в процессе своей работы по решению общей задачи в единую совокупность независимо от формальной организационной структуры. В таком случае осуществляется оптимизация на общесистемном уровне.

Системный подход позволяет распознать увеличение сложности в реальном мире и увеличение значения взаимозависимостей между системами. Пока имелось лишь несколько самолетов, то и проблемы выбора маршрутов авиалиний, составления расписаний полетов и т. п. были весьма просты. Теперь, когда число самолетов, использующих ограниченное воздушное пространство, неуклонно возрастает, взаимозависимости между различными системами (управление полетом, метеорология, коммерческая и частная авиация и т. д.) становятся очевидными. Поскольку интенсивность воздушного движения увеличивается, взаимозависимые системы должны быть объединены в более крупную систему, что позволит использовать большее число самолетов, перевозить большее число пассажиров. Таким образом, будет увеличена эффективность использования ограниченных ресурсов (воздушного пространства, аэродромов и т. д.).

Для своей реализации системный подход требует построения некоторой системы, в рамках которой согласуются все подсистемы. Проектирование такой обобщающей системы, направляющей развитие подсистем, не приводит к увеличению централизации управления.

Проектирование общей системы путем согласования ее целей с целями подсистем еще не означает реализации какой-то системной концепции. Практическое использование согласованного решения может основываться на локализованном управлении решениями в пределах общей концептуальной схемы. Из утверждения о том, что все коммерческие самолеты должны летать по намеченным для них линиям, на установленной высоте и на определенном расстоянии друг от друга, можно сделать вывод, что до тех пор, пока этого нет, в имеющемся ограниченном воздушном пространстве сможет находиться меньшее количество самолетов. Утверждение о том, что служба управления дорожным движением должна использовать общие дорожные знаки, сигналы и правила, является необходимым следствием увеличения количества автомобилей на дорогах. Считать, что введение общих норм является нарушением каких-то элементов привычной свободы, — значит забыть, что реальная угроза — это угроза со стороны роста сложности. А такая угроза, пока мы стараемся разрешить проблемы, существующие между системами, может привести к выходу системы из строя.

Соглашение о предпочтительности укрупнения систем может привести к самоперестройке подсистем и отказу от некоторых их прежних методов работы. Говорить, что при подходе к задачам с общей точки зрения подсистемы отказываются от ряда своих локальных прав, — значит забыть, почему они, собственно, должны это делать. А делать это необходимо, чтобы вновь обрести автономию, находящуюся под угрозой вторжения со стороны других систем, которым предписывается поступать подобным же образом в целях выживания.

В процессе объединения всех подсистем при рассмотрении общих проблем нам хотелось бы гарантировать, что качества каждой из них сохраняются. Важным вопросом является следующий: сможем ли мы поддержать децентрализованное распределение качеств систем среди «рассредоточенных центров влияния» так, чтобы «нигде не было центра, имеющего возможность единолично принимать решения»? [13].

Системный подход предполагает достижение согласия на наивысшем системном уровне. До тех пор пока каждая подсистема может сохранять свои качества, она не потеряет способности к совместной работе с другими подсистемами. Более того, она приобретает новые качества, а именно способность к участию в выработывании общих решений, которые не могли бы быть приняты и реализованы, если бы каждая система функционировала независимо. В процессе образования коалиций подсистем подчиняют некоторые из своих локальных требований требованиям, обусловленным решениями в укрупненной системе. Несомненно, некоторое переупорядочение и адаптация систем

будут иметь место. Однако, пока мы не придерживаемся концепции планирования на высоком системном уровне при согласованном участии всех подсистем, функционирование всей полной системы будет подвергаться опасности. Здесь нет противоречия в поддержке, с одной стороны, решений, выработанных на основе централизации и всеобщего согласия, и, с другой стороны, в содействии их практическому внедрению, выполняемому децентрализованными, местными органами формирования решений.

## Методология исследования мягких систем

Обсуждая в гл. 2 классификацию наук, мы ввели в рассмотрение дихотомию на жесткие и мягкие системы. Напомним, что мягкие системы можно в общих словах охарактеризовать следующим образом. Мягкие системы — это живые, открытые, имеющие организованную сложность (т. е. их элементарные блоки являются неделимыми целыми), целеустремленные, иерархизованные системы, причем свойства, имеющиеся на высшем уровне, не являются простым объединением свойств низших уровней.

Установление подобия систем способствует перенесению теорий и методов с одной дисциплины на другую. Однако подобиям не следует придавать излишнего значения, так как при этом можно упустить из виду существенные различия между системами. И то у другое — перспективные задачи общей теории систем. Различия между жесткими и мягкими системами оправдывают наши усилия по развитию и применению методов, созданных специально для данного типа систем. Таким образом, мы стараемся дополнить научную парадигму, проистекающую из научного метода, системной парадигмой, ведущей свое происхождение из общей теории систем. Мы напомним о замечаниях, сделанных в гл. 8 и 9 в связи с проблемой количественного определения и измерения. Мы высказывались там в пользу дифференцированного обращения с переменными, которые характеризуют мягкую систему. Необходимо применение порядковой шкалы, а не более грубых качественных шкал. Требуется также более широкое использование процессов неформального рассуждения, эвристик и т. п.

В области мягких систем значение роли экспертизы и экспертов усиливается вследствие недостатка ответных сигналов, экспериментальных данных, из-за ограниченных возможностей по прогнозированию, важности, которую приобретают единичные события, а также сложности, присущей данной области. Использование субъективной вероятности здесь не только допустимо, но и необходимо.

Практическое использование, или реализация, включает «взаимное понимание» позиций. Требуется также формирование экспертов нового типа — экспертов по достижению согласия. Единодушное мнение необходимо для координации действий подсистем, подсистем и общей системы, потребителей и разработчиков и т. д., оно необходимо и «в большом», и «в малом». Согласие «в большом» связано с достижением согласованных действий огромных масс людей: женщин, избирателей, фермеров и т. д. Понимания данного процесса не требуется для проникновения в природу целей, как кто-либо может подумать. Такое понимание нужно скорее для того, чтобы проектировщики систем лучше удовлетворяли потребности потребителей. Согласие «в малом» связано с методами, которыми достигается согласованность действий в рамках малых групп, причем достигается не случайно, а систематическим образом. Соответствующие методы, например, дельфийский метод и технологическое прогнозирование, обсуждались в гл. 16, 17 и 19. Они основаны на рассмотрении экспертов как индивидуумов, обладающих способностью к отбору и чувствительностью к соответствующим сигналам. Данные методы связаны с методами, направленными на увеличение творческого потенциала, что может быть достигнуто иницированием подсознательного мыслительного процесса, не поддающегося четкой формулировке.

## Разрыв между теорией и практической деятельностью

Хотя системный подход имеет широкий спектр использования, в данной книге основное внимание уделено его приложению к общественным наукам, связанным с ним и методологическими, и философскими узами. Представляется поэтому логически оправданным рассматривать прогресс в области системного подхода в связи с прогрессом общественных наук и поставить следующие вопросы:

1. Должны ли общественные науки учитывать интересы общества?
2. Могут ли общественные науки оставаться нейтральными по отношению к обществу?
3. Могут ли общественные науки иметь систему ценностей, независимую от влияния общества?
4. Является вмешательство в ход событий лишь теоретически допустимым или практически возможным?
5. Как мы можем примирить стратегию постепенных улучшений со стратегией нововведений?

## Должны ли общественные науки учитывать интересы общества? [14]

До 50-х годов исследования в области общественных наук [имеются в виду науки Запада.— *Ред.*] в основном были направлены на развитие и совершенствование методологии. Начиная же с 60-х годов социологи оказались вовлеченными в новую сферу интересов. Они уже не ограничивались исключительно развитием теорий, а призывали к их практическому применению — формированию социальной политики. К настоящему времени признано, что

в области общественных наук развиты приемлемые научно обоснованные процедуры сбора достоверной информации о стоящих проблемах. В значительной степени возросло научное содержание общественных наук за последние десятилетия, развиты блестящие методы анализа и оценки для проверки теоретических и практических предположений. И даже там, где еще не достигнуты желаемые успехи, — а они, несомненно, будут достигнуты — опыт социологов может помочь заглянуть в сущность проблемы [15].

Раньше социологи считали делом чести работать, будучи ни от кого и ни от чего не зависимыми, не подчиняя ни свою науку, ни себя никаким внешним императивам. Мы являемся очевидцами значительных изменений в этом отношении. Развивается новая область, охватывающая системный анализ, системный подход и прикладные общественные науки. Эту новую область называют по-разному: социальная политика, политическая наука, социальное планирование. Она включает по определению «любые предположения для формирования преднамеренных действий по реализации задач, стоящих перед обществом или какой-либо из его частей» [16]. «Социальная политика... имеет дело с социальными целями... Центральной, хотя и не единственной задачей социальной политики является исследование социальных целей стратегий, направленных на достижение общественного благосостояния, а также социальных целей экономических стратегий...» [17]. «Помимо всего прочего, социальная политика имеет дело с выбором между противоречивыми ценностями» [18].

Социологи берут на себя новые обязательства, выражающие их желание осуществления перемен. «Имеется широкий спектр возможностей — от пассивного знания до действия, и социологи играют активную роль в реализации любой позиции этого спектра» [19].

Вторгаясь в область социального действия, социологи тем самым ликвидируют разрыв между теорией и ее практическим применением. До 1960 г. социологи отвергали признание какого-либо императива в своей работе, который мог бы угрожать их нейтралитету по отношению к обществу и независимости от него.



Теперь же они считают свою вовлеченность в дела общества неизбежной и необходимой.

**Могут ли общественные науки оставаться объективными, нейтральными по отношению к обществу и сохранить свою, независимую систему ценностей?**

Общественные науки и системный подход используются при выработке рекомендаций в деловой сфере и при формировании социальных стратегий. А коль скоро общественные науки дают рекомендации, они утрачивают свою нейтральность.

Противоречие между концепциями нейтральной науки и науки, подчиненной определенному влиянию, не является новым [20]. Как отмечает Поппер, нельзя быть в стороне от этого спора, так как вмешательство науки в жизнь общества может иметь столь же решающее значение, как и невмешательство, в том смысле, что оправдание невмешательства в человеческие судьбы (как и оправдание вмешательства) должно быть аргументировано [21]. Если субъектом общественных наук являются человек и его институты, то как же мы можем отделить самих себя и наши решения от процесса нашего исследования?

Принимаем ли мы вмешательство ученого как активного участника процесса перемен или только как наблюдателя событий, зависит от процесса накопления знаний, т. е. от того, как мы отвечаем на следующие вопросы:

- Что такое знание или что значит знать?
- Как мы приходим к знанию того, что мы знаем?
- Как мы можем доказать, что мы достигли истины?

Данные вопросы уже обсуждались в связи с принятием решений (гл. 4), экспертизой (гл. 17) и планированием (гл. 19).

Цикл очевидная реальность — миропонимание — система познания — истина был предложен в качестве одного из подходов, применив который можно сформировать план, исходя из реального положения вещей. Подчеркивалось, что феномены «истина» и «знание» могут быть поняты как «процесс участия», протекающий между реальностью и наблюдателем, между наблюдателем и объектом наблюдения. В данном контексте знание является лишь результатом воздействия процессов познания каждого индивидуума на реальный мир. Как мы подробно отмечали при обсуждении цикла принятия решения, получаемая истина должны соотноситься с миропониманием каждого индивидуума и не может быть от него отделена. Знание же не только соотносится с миропониманием каждого индивидуума, но и классифицируется на этой основе. Наблюдатель и объект наблюдения относятся к одной системе и не могут быть разделены. Наблюдатель (ученый) по самому определению процесса фор-

мирования знаний (науки) включен в систему. Следствием этого является то, что ученый не может оставаться нейтральным.

Концепция объективности, претендующая на то, чтобы поставить ученого вне системы, формирующей его как ученого, не может рассчитывать на поддержку. *Невмешательство, нейтралитет и объективность* должны быть заменены взглядом на науку, в соответствии с которым придается ценность *вмешательству, активности и участию*. Этика и моральные аспекты разработки и реализации систем включены в парадигму знания, отрицающую как наличие раскола между объектом и субъектом, так и отделение наблюдателя от предмета наблюдения. Иной путь рассмотрения взаимодействия ученых и науки связан с утверждениями, сделанными в гл. 7, посвященной этическим аспектам систем, где мы указываем на необходимость иметь «науку о науке», т. е. иметь процесс, являющийся инструментом самопознания. В рамках такого процесса давались бы ответы на вопросы о том, как достигаемая истина становится образом реальности, способствуют ли результаты такого познавательного процесса реализации функции саморегулирования системы. Этическая сторона проектирования систем нацелена, помимо прочего, на поддержание тех процессов в системах, которые усиливают способность систем к выживанию. Она направлена также на развитие способов функционирования системы, поддерживающих ее в состоянии равновесия без нарушения нормального режима управления.

**Является вмешательство лишь теоретически допустимым или практически возможным?**

Вопрос о нашей психологической готовности к активному вмешательству в ход событий, быть может, и не столь важен, как вопрос о возможности такого вмешательства. Данный вопрос имеет особое значение, так как существуют разные мнения относительно способности индивидуума влиять на ход событий. Мы приходим к противоречию. С одной стороны Скиннер и другие бихевиористы утверждают, что «научная теория поведения человека должна упразднить концепцию индивидуума как единицы действия или инициатора действия» [22]. Для Скиннера и его последователей человек является лишь организмом, поведение которого зависит от количества и времени приложения стимулирующих внешних воздействий. С другой стороны, оппоненты Скиннера заявляют, что человек не только подчиняется нормам, обусловленным его окружением, но и наделен собственным «я» и внутренними стимулами, формирующими и объясняющими его поведение.

Разрешение философского противоречия между этими двумя школами выходит за рамки книги. Мы можем лишь отметить, что мы на стороне тех, кто верит в нашу власть, хотя бы и ограниченную, над окружающим миром. Мы признаем существование внешней системы и верим, что можем работать в ней и без условностей и побуждений, предсказанных Скиннером. Принять концепцию, что наука и человек могут воздействовать на возникающие проблемы, — значит утверждать, что наука может включиться в процесс социального действия и готова принять на себя ответственность за вносимые ею перемены.

### **Как мы можем примирить стратегию постепенных улучшений со стратегией нововведений?**

Системный подход и связанные с ним принципы проектирования систем не ограничивают пути к совершенствованию систем лишь их постепенным улучшением, осуществляемым в окрестности текущего состояния. Самые важные творческие достижения человека были получены в результате качественных скачков — значительных отходов от общепринятых стандартов. Инкрементализм и концепция «доведения дела до конца кое-как» Линдблома [23] обнаруживают наши недочеты, но не дают руководства к действию. Коренные изменения следует рассматривать как индуктивный, а не дедуктивный процесс, хотя творчество, возможно, основывается на обоих процессах. Коренные изменения есть процесс, с помощью которого ученый делает нерегулярные шаги, приближающие его к идеальной системе [24]. В гл. 7 мы обсуждали «философию действия» Чёрчмена, которая рекомендует стремиться к идеалу реальности, но отмечает, что мы часто принимаем практическую реализацию за идеал.

Имеются утверждения о том, что системный подход не научен из-за холистского взгляда на систему в условиях недостатка информации о ней. Мы же считаем, что отбрасывание части общего решения, что является следствием рассмотрения лишь части подсистем, как раз и ненаучно. «Познать части без знания целого так же невозможно, как познать целое без знания его частей» [25].

Мы отдаем себе отчет в трудностях, с которыми сталкиваемся в попытках достичь цели подсистем, функционирующих в рамках полной системы. К сожалению, мы часто колеблемся между использованием локальных решений для подсистем и глобальных решений, планируемых для системы в целом.

## Будущее общей теории систем и системного подхода

Мы старались аргументированно показать, что общая теория систем создает теоретический фундамент, на котором базируются системный подход и системная парадигма. Хотя глава, посвященная общей теории систем (гл. 3), и была добавлена в настоящее издание книги, лишь ученые, активно работающие в прикладных областях, смогут решить, получают ли они практическую пользу от данного раздела науки при решении своих текущих задач.

Некоторые ученые [26] весьма скептически относятся к работам Берталани, Ласло, Рапопорта, Форрестера, Медоуза и всех так называемых системщиков. Другие [27], напротив, заинтересованы в дальнейшем развитии общей теории систем как объединяющей дисциплины и в формировании «максимально общепризнанной точки зрения, доступной для самой широкой аудитории» [28]. Вайнберг «старается приблизить общесистемные идеи к человеку, которому они, вообще говоря, и предназначены» [29]. Мне было бы лестно думать, что и я следую по его стопам. Кроме того, мне хотелось сдвинуть общую теорию систем с позиции «международной организации для развития теоретических систем» [30] в такую позицию, где общая теория систем стала бы методом, подходом, образом мысли, а общественная полезность сочеталась бы с этикой. Чтобы это произошло, прикладная общая теория систем должна разрешить основное противоречие, которое Виккерс, один из президентов Общества по общесистемным исследованиям, выделил как самое важное. Имеется в виду противоречие между критерием устойчивости — неустойчивости, который относится к естественным неживым системам, и критерием «успеха — неудачи», связанным с системами, включающими человека. Как указывает Виккерс, «естественные природные системы не испытывают неудач и не достигают успехов... Они могут быть более или менее устойчивы в различные промежутки времени и, таким образом, могут переходить из одного относительно устойчивого состояния в другое» [31].

Итак, существует различие между теми, кто стоит на строго научной платформе и старается объяснить и устранить сбои в работе систем на основе критериев устойчивости, и теми, кто склонен к учету человеческого фактора и смотрит на критерий ценностей как на критерий, подходящий для изучения таких систем [31].

Учитывая, что большинство рассматриваемых нами систем включает человека, необходимо согласовать два указанных подхода. Это требуется для формирования методологии осуществления изменений, путем реализации которых стоящие перед

нами задачи могут быть разрешены. Виккерс отмечает вновь: «Кажется, что проблемы наших дней — политические, экономические, экологические, правовые, культурные и социальные — могут формулироваться лишь в терминах, включающих как ценностные критерии человеческих культур, так и критерии устойчивости всех культур» [31]. По Рапопорту, требуемая согласованность подходов «поможет взаимному обогащению научных дисциплин» и «устранению барьеров между теоретическими построениями и научными исследованиями. ...Существенно, что специалисты-прикладники с вниманием относятся к теоретическим обобщениям, а теоретики в свою очередь пытаются понять конкретные проблемы, возникающие при использовании общей теории систем как инструмента научных исследований» [32].

Я хотел бы завершить свою книгу выражением надежды, что она будет полезна как узким специалистам, так и ученым общетеоретического направления и послужит их сближению и взаимообогащению. Мир ожидает начала их совместных действий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Hoos I. R., Systems Analysis as a Technique for Solving Social Problems — A Realistic Overview, *Socio-Economic Planning Sciences*, 4, 1, 29 (March 1970); Hoss I. R., Engineers as Analysts of Social Systems: A Critical Enquiry, *Journal of Systems Engineering*, 4, 2, 61—88 (1976). См. также Hoos I. R., Can Systems Analysis Solve Social Problems?, *Datamation*, 82—92 (June 1974); Hoos I. R., Criteria for Good Futures Research, *Technological Forecasting and Social Change*, 6, 113—132 (1974); The Costs of Efficiency: Implications of Educational Technology, *Journal of Higher Education*, 46, 2, 141—159 (March—April 1975).
2. Rivlin A. M., Systematic Thinking for Social Action, Brookings, Washington D. C., 1971, pp. 9—45, 50.
3. Там же, с. 7, 46—63.
4. Там же, с. 7, 86—120.
5. Olson M., Jr., Evaluating Performance in the Public Sector, A Working Paper, University of Maryland, College of Business and Public Administration, College Park, Pa., 1972.
6. См. п. 2, с. 64, 69.
7. Там же, с. 121.
8. Laner S., The Systems Concept as a Common Frame of Reference — Introduction, in Lawrence J. R. (ed.), *Operational Research and the Social Sciences*, Tavistock, London, 1966, p. xxix.
9. Я хотел бы выразить благодарность М. Олсону за пояснения, сделанные им во время частной беседы в связи с концепцией рациональности. Он, естественно, не несет ответственности за мою интерпретацию данной концепции.
10. Hoos I. R., Systems Analysis in Social Policy — A Critical Review, Institute of Economic Affairs, London, 1969.
11. Hoos I. R., Systems Analysis and Public Policy, University of California Press, Berkeley and Los Angeles, 1972, 1974.

12. Diesing P., Reason in Society, in the Political Economy of Efficiency: Cost-Benefit Analysis and Program Budgeting, *Public Administration Review*, 26, 4 (December 1968).
13. Wildavsky A., The Politics of the Budgetary Process, Little Brown, Boston, 1964, p. 131.
14. Horowitz E. L. (ed.), The Use and Abuse of Social Science, Transaction Books, New Brunswick, N. J., 1971, Introduction.
15. Knowledge into Action: Improving the Nation's Use of the Social Sciences, Report of the Special Commission on the Social Sciences of the National Science Board, Government Printing Office, Washington, D. C., 1969, pp. 7—9.
16. Gans H. J., Social Science for Social Policy, in Horowitz I. L. (ed.), The Use and Abuse of Social Science. См. п. 14, с. 14.
17. Rein M., Social Policy: Issues of Choice and Change, Random House, New York, 1970, pp. 9—10.
18. Rein M., Social Policy Analysis as the Interpretation of Beliefs, *Journal of the American Institute of Planners*, 37, 5, 297 (September 1971).
19. Harris F. R., Social Sciences and National Policy, Aldine, Chicago, 1970, p. 10.
20. Simey T. S., Social Science and Social Purpose, Schocken, New York, 1969.
21. Popper K. R., The Poverty of Historicism, Harper and Row, New York, 1964.
22. Цитата приписывается Скиннеру.
23. Lindblom C. E., The Intelligence of Democracy, Free Press, New York, 1965, ch. 9.
24. Nadler G., Work Design: A Systems Concept (rev. ed.), Irwin, Homewood, Ill., 1970.
25. Pascal B. (1623—1662), Pensées, In Oeuvres Complètes, Bibliothèque de la Pléiade, Editions Gallimard, Paris, 1954, p. 1110.
26. См., например, Berlinski D., On Systems Analysis: An Essay Concerning the Limitations of Mathematical Methods in the Social, Political and Biological Sciences, MIT Press, Cambridge, Mass., 1976.
27. См., например, Weinberg G. M., An Introduction to General Systems Thinking, Wiley, New York, 1975; Rubinstein M. F., Patterns of Problem Solving, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1975.
28. Weinberg G. M., см. п. 27, с. XI. Автор намеренно допустил двусмысленность для слова «общий» в названии книги.
29. Там же, с. 47.
30. Юридически данная организация называется Society for General Systems Research.
31. *General Systems Bulletin*, 7, 1, 3 (Autumn 1976).
32. Rapoport A., Preface, *General Systems*, 21, V (1976).

## Обзорные вопросы и курсовая работа

Предлагаемые ниже вопросы построены таким образом, чтобы облегчить усвоение материала каждой главы; обратите внимание на то, что для большинства вопросов указаны номера глав, к которым они относятся. Преподаватель может выбрать следующий метод обучения: предложить студентам в качестве курсовой работы рассмотреть какую-нибудь конкретную систему и ответить на все вопросы, связанные с данной темой. Таким образом, студенты более глубоко изучат предмет и в конце курса смогут представить курсовую работу.

Читатель должен иметь в виду, что ряд вопросов относится к одной и той же теме.

## Курсовая работа

Цель выполнения — вырабатывание у студентов практических навыков по применению полученных знаний.

### Система, выбираемая для курсовой работы

Студентам рекомендуется выбирать систему для своей курсовой работы, исходя из нерешенных проблем тех организаций, где они работают или учатся. Тема проекта может относиться к области благосостояния, образования, транспорта, медицинской помощи и т. д. Курсовые работы могут касаться таких процессов, как регистрация обучающихся в колледже, составление расписания полетов самолетов, размещение оборудования на производстве. Они могут заключаться в применении некоторого конкретного метода к решению данной проблемы, например использования алгоритма декомпозиции из линейного программирования для доказательства принципов централизации и децентрализации (см. гл. 14). Работы могут носить и теоретико-философский характер. В этом случае полезно воспользоваться материалом, изложенным в гл. 2 и 20.

### Последовательность выполнения курсовой работы

Один из методов выполнения исследования описан в гл. 5, он представлен шагами, или этапами, *цикла проектирования систем* (см. рис. 5.2). Другой метод, «алгоритм процесса тестирования и утверждения стратегии принятия решений», описан в гл. 8 (см. рис. 8.2).

### Обзорные вопросы

1. Составьте список важных понятий и свойств, связанных с системами, и дайте точные определения каждому из них (гл. 1 и 2).
2. Изучите выбранную вами систему и укажите применительно к ней следующее:
  - а) систему в целом полную систему и подсистемы;
  - б) окружающую среду;
  - в) цели или назначение системы в целом;
  - г) цели каждой системы и подсистемы;
  - д) входы, ресурсы и (или) затраты;
  - е) выходы, результаты и (или) выгоды;
  - ж) программы, подпрограммы и работы;
  - з) исполнителей, лиц принимающих решения, и руководителей;
  - и) варианты, при использовании которых могут быть достигнуты поставленные цели;
  - к) параметры, критерии, или меры эффективности, по которым можно оценить достижение целей;
  - л) модели полезности и (или) модели принятия решений, с помощью которых можно оценить процесс преобразования входов в выходы или на основе которых можно осуществить выбор вариантов (гл. 1, 2, 4, 5 и 11).
3. Объясните, почему на принимаемые решения может повлиять то, каким образом лицо, принимающее решение, устанавливает границы системы и окружающей ее среды. Приведите примеры. В гл. 1 (табл. 1.2) такие примеры относились к деловой сфере и области образования.
4. Укажите другие системы, выходы которых оказывают влияние на выбранную вами систему. В частности, опишите, как выходы одной систе-

- мы становятся входами другой, и дайте описание их взаимозависимостей (рис. 1.4).
5. Что отличает живые системы от неживых, абстрактные от конкретных и открытые от замкнутых? Приведите примеры (гл. 2).
  6. Как вы понимаете слова Рапопорта, что благодаря механизму обратной связи неживые системы «как бы проявляют свойство эквифинальности» и «приобретают некоторые свойства живых систем за счет того, что эти неживые системы открыты» (гл. 2).
  7. Объясните, что значит двойственность переменных применительно к понятиям: неупорядоченность, энтропия и количество информации (см. рис. 2.2 и 18.1 и относящиеся к ним объяснения).
  8. Дайте определение понятий: «простые организованные системы», «сложные неорганизованные системы» и «сложные организованные системы». Приведите примеры по обоим типам сложности (гл. 2).
  9. Что вы скажете о следующем утверждении, заканчивающемся словами У. Бакли: кибернетика и общая теория систем способствовали тому, что понятие цели «стало занимать достойное место в науке (как в теории, так и в практике) после долгих столетий телеологического мистицизма» (гл. 2).
  10. Почему термин «целенаправленное поведение» влечет за собой введение ограниченных телеологических категорий, свободных, однако, от телеологических мистификаций (рис. 2.1, а также гл. 2)?
  11. Почему мы считаем, что существуют системы, в которых важны «предшествующие события» (являющиеся причиной), и другие системы, в которых более существенны «последствия» (табл. 2.1, а также гл. 2)?
  12. Сравните допущения, лежащие в основе систем, к которым приложим аналитико-механистический подход, с допущениями для таких систем, к исследованиям которых следует применить системный подход (табл. 2.1).
  13. Почему общую теорию систем можно рассматривать как «основу наук»? Как этот вопрос может быть связан с таксономией (классификацией наук и систем) (рис. 2.1) и понятием «единство знаний» (гл. 2)?
  14. Что называют общей теорией систем? Каковы главные задачи и основные положения этой области знания? Дайте краткий обзор развития идей, послуживших фундаментом создания общей теории систем, и укажите имена наиболее известных ученых, а также вклад каждого из них в эту область науки (гл. 3).
  15. Что означает каждое из трех названий: общая теория систем, теория общей системы и теория общих систем. Внесите ясность в путаницу, возникающую в связи с использованием этих трех понятий. Как следует называть эту дисциплину и почему (гл. 3)?
  16. Каким образом можно совместить теорию эволюции и второй закон термодинамики в рамках общей теории систем, если, согласно первой, в мире происходит прогрессивная эволюция в направлении все более высокого уровня сложности, а, согласно второму, «вместо совершенствования Вселенная в целом деградирует» (гл. 3)?
  17. В чем разница между «иерархической структурой» и «иерархическим упорядочением»? Приведите примеры обоих типов иерархий и объясните, как с их помощью возможно описывать явление сложности (гл. 3 и 14).
  18. Внимательно изучите теорию живых систем Миллера, в которой он постулирует наличие девятинадцати, как он считает, обязательных для поддержания жизни подсистем, касающихся преобразования вещества, энергии и информации. Обратитесь также к работе [96], рекомендованной в списке литературы к гл. 3, которая касается применения модели Миллера для изучения структуры университета, студентам которого выплачивают стипендию муниципальные органы. Ознакомьтесь с частью II гл. 1, посвященной системе уголовного делопроизводства. Указанные работы помогут вам улучшить проектируемую систему.



19. Примените к выбранной вами проблеме или вопросу цикл очевидная реальность — миропонимание — система познания — истина. Покажите, как из одних и тех же исходных данных возникают различные формулировки задач и разные планы действий. Продемонстрируйте, какое влияние оказывают на планы разные ценности, предположения, познавательные стили. Сравните точки зрения клиентов и планировщиков (рис. 4.4). Обратитесь к гл. 16 по проблеме достижения согласия и к гл. 17 по вопросам, связанным с системами познания.
20. Свяжите понятие миропонимания (гл. 4) с понятием системы оценки (гл. 18). Каким образом можно использовать цикл очевидная реальность — миропонимание — система познания — истина для более эффективного управления системами?
21. Согласны ли вы с утверждением о том, что цели и методы общественных предприятий с каждым днем становятся все более схожими с целями и методами частных предприятий? Укажите сходство и различие целей и методов для указанных случаев. Приведите реальные примеры и попытайтесь дать прогноз на будущее (гл. 6).
22. Объясните значение понятия «компромисс». Уточните, к чему может быть отнесено понятие «оценка компромиссов», и сформулируйте несколько теорем (гл. 6).
23. Разберите примеры компромиссных ситуаций с противоположными тенденциями изменения цен, показанные на рис. 6.1 и 13.4. Приведите другие примеры, к которым приложима эта модель. Как вы поступите в компромиссной ситуации при наличии более двух вариантов затрат (гл. 6 и 11)?
24. Подберите величины (в долларах) вмененных издержек (из табл. 6.4 и 6.5) для двух вариантов разрешения проблемы нехватки нефти. Внесите изменения в таблицы, если этого потребует сложившаяся ситуация. Какие можно сделать выводы в результате проведенной работы относительно того, как следует решать эту задачу? Примените те же рассуждения для решения проблемы нехватки электроэнергии и воды в районе, где вы проживаете (гл. 6).
25. Объясните, каким образом можно воспользоваться алгоритмом линейного программирования для определения точек компромиссов. В частности, объясните понятия: содержательные цены взаимозамен, теневые цены и вмененные издержки, связанные с дополнительными ресурсами (приложение к гл. 6).
26. Какую модель решения вы бы выбрали для поиска компромисса между временем и затратами, временем ожидания и простоянием средств обслуживания, объемом валового национального продукта и качеством жизни, ростом экономики и качеством окружающей среды (гл. 6 и 10)?
27. Рассмотрите понятия издержек, прибыли и полезности как понятия, связанные с ценностью. Дайте другие варианты определений каждого из приведенных выше понятий и укажите их преимущества и недостатки для различных приложений (гл. 7).
28. Рассмотрите философские взгляды Зингера, согласно которым, «наука никогда не делает утверждений в изъяснительном наклонении, скорее — в повелительном» (гл. 7).
29. Сопоставьте понятие «технологические потребности» с понятием «общественные потребности» как философией проектирования систем (гл. 7).
30. Что входит в понятие «этические аспекты проектирования систем»? Какие основные моменты, относящиеся к этической стороне разрабатываемого проекта, должен учитывать проектировщик (гл. 7)? Рассмотрите эти вопросы применительно к проекту вашей системы.
31. Приведет ли использование принципа «равенства» к тому же самому проекту системы, что и применение принципа «справедливости»? Проверьте сказанное на примере выбранной вами системы (гл. 7).

32. В тексте гл. 7 мы касались этических аспектов побочных эффектов на примере трех систем. Приведите свой пример и рассмотрите положительные и отрицательные воздействия, оказываемые вашей системой на другие (гл. 7).
33. Покажите связь между этической стороной производимых изменений (гл. 7) в связи с реализацией (гл. 15).
34. Кто и каким образом решает, что цели, стоящие перед планировщиками системы, согласуются с целями пользователей систем? Приведите пример проекта, недавно осуществленного в вашем районе, и проанализируйте его (гл. 7).
35. Этика проектирования систем (гл. 7) включает следующие моменты:
- а) критерии ценности, с помощью которых измеряются результаты (выход) системы;
  - б) возможность повышения качества процесса получения оценок с помощью научных и технических методов;
  - в) этику (результатов) побочных эффектов;
  - г) этику производимых изменений;
  - д) этику поставленных целей;
  - е) этику руководителя;
  - ж) ответственность перед обществом;
  - з) этику использования ресурсов;
  - и) потребление и охрану интересов потребителя;
  - к) ответственность за выпускаемую продукцию;
  - л) позиции реалиста и идеалиста.

Рассмотрите перечисленные выше моменты применительно к приводимым ниже вопросам.

1. Решение США развивать (или не развивать) сверхзвуковые транспортные средства.

2. Решение строить (или не строить) атомные электростанции.

3. Рекомендации развлекать исследования по генетике, или по «рекомбинационной ДНК», в которых изучаются соединения молекул, определяющие наследственность.

4. Решение возвести современные небоскребы, которые заслонят Эйфелеву башню и изменят облик Парижа.

5. Решение, принятое администрацией вашего округа, о строительстве недалеко от вашего места жительства нефтеперерабатывающего промышленного комплекса стоимостью 1 млрд долл., который будет перерабатывать ~200 000 баррелей нефти в сутки.

36. Опишите различные шкалы измерений. Приведите примеры параметров (свойств, признаков) жестких и мягких систем, которые могут быть измерены по каждой из шкал. Для всех параметров системы, выбранной вами для курсовой работы, укажите шкалы, по которым они измеряются. Что означает понятие «сила шкалы»? Почему мы говорим, что в мягких системах не допускается та же сила шкалы, что и в жестких?

Выскажите и обоснуйте свое мнение по вопросу: определяется ли сила шкалы принадлежностью к данной области систем или это понятие отражает нашу неспособность разработать соответствующие методы измерений (гл. 8 и 9)?

37. В чем, по-вашему, различие между «количеством» и «качеством»? Какой тест вы бы предложили для того, чтобы отличать одно от другого? Является ли красота «количественной» или «качественной» переменной? Как бы вы подошли к измерению деловых качеств служащих, студентов (гл. 8)?

38. Объясните смысл понятия «иерархия моделей», которое позволяет осуществить переход «от качественных наблюдений к количественным утверждениям» относительно событий, объектов и явлений. Поясните каждую

- из моделей применительно к вашему курсовому проекту (рис. 8.1 и 8.2 и относящийся к ним текст).
39. Объясните название процедуры, приведенной на рис. 8.2. Попробуйте так спроектировать политику правительства, чтобы увеличить минимальную годовую заработную плату (или установить новую «границу бедности»): для семьи из четырех человек, живущей в городе, минимальная зарплата составит 6000 долл. и для одиночек 3100 долл. Для 1975 г. приведенные цифры соответственно равны 5500 и 2800 долл. (гл. 8 и 10).
  40. В гл. 10 утверждается, что «социальные показатели должны отражать причинные связи между затратами и их результатами для того, чтобы можно было оценивать влияние правительства». Объясните, каким образом алгоритм тестирования и утверждения стратегии принятия решений может быть применен к социальным показателям, «чтобы они отражали „причинные“ связи, о которых речь шла выше» (гл. 8 и 10).
  41. Эннис в своей работе ([1] в гл. 8) говорит, что «досуг включает активную деятельность некоторого числа людей, осуществляемую в течение определенного времени и требующую прямых или косвенных расходов. Следовательно, любая социологическая оценка досуга должна основываться на одном или более из этих четырех факторов: времени, суммы в долларах, вида деятельности и числа людей». Предложите, каким образом можно измерить указанные компоненты досуга (гл. 8).
  42. По словам M. Clawson и J. L. Knetsch — авторов работы *Economics of Outdoor Recreation* (Baltimore, The Johns Hopkins Press, 1966, p. 12), «досуг и отдых очень близкие понятия, но не одно и то же. Досуг — это времяпрепровождение особого рода, так же, впрочем, как и отдых, который может быть активным и пассивным. Отдых занимает часть досуга, но не весь досуг посвящается отдыху». Поясните и дайте определения понятиям «работа», «досуг» и «отдых» (гл. 8).
  43. Дайте определение понятию «система образования», исходя из которого можно было бы построить способы измерения ее результатов (выхода). (Список результатов выхода системы образования можно найти, например, в следующих трудах: *Seminar on Outputs of Higher Education, Washington 1970: Their Identification, Measurement and Evaluation*, Colorado, Western Interstate Commission for Higher Education, July 1970.)
  44. Изложите ваше мнение об утверждении, что измерение есть «теория прогнозирования» (гл. 8).
  45. В гл. 8 приводится пример применения алгоритма тестирования и утверждения стратегии принятия решений для установления причинной связи между переменными, которые могут влиять на возникновение сердечных заболеваний. Воспользуйтесь этим алгоритмом для выявления связи между курением и раком легких (гл. 8).
  46. Сравните методы познания в физических и общественных науках. Почему «объяснения» и «прогнозы» могут быть построены на разных данных в этих двух областях наук (гл. 9)?
  47. Отметим важность уникального события. Как вы думаете, существует ли возможность уникального события в области физических наук, в области общественных наук? Приведите примеры в подтверждение ваших соображений. Рассмотрите связи понятия «уникальное» и «редкое» событие со «статистикой крайних значений» (гл. 9).
  48. Объясните последовательность шагов традиционного научного метода, применяемого в физических науках. Как бы вы модифицировали научный метод, чтобы в нем нашли отражение специфические черты общественных наук? Какие «специальные методы» уже созданы в этой новой области? Можете ли вы предложить другие методы, которые вы хотели бы исследовать в будущем? Проведите полное и подробное сравнение научной и системной парадигм (гл. 1, 4, 5 и 9).

49. Как можно применить основные положения теории катастроф (гл. 9) к описанию игры на повышение, игры на понижение и крахов на бирже? Сравните ваши соображения с объяснениями, приводимыми Е. Зеemanом в статье *Catastrophe Theory*, *Scientific American* (April 1976).
50. Что означает утверждение: «Теория размытых множеств есть математический результат, обещающий стать *метаязыком неясности* аналогично тому, как статистика и теория вероятностей представляют собой *метаязык неопределенности*?»
51. Продумайте постановку эксперимента для проверки гипотезы, утверждающей, что форма функции принадлежности зависит от таких психологических переменных, как стиль познания данного индивидуума (гл. 9 и 17).
52. Объясните, каким образом теорию размытых множеств можно использовать в качестве нового способа рассуждения, специально разработанного для области «неточных наук». (См. Helmer, Rescher, *On the Epistemology of the Inexact Sciences*, *Management Science*, 6, 1, October 1959.)
53. Опишите прогресс научной мысли и философии науки с помощью следующей триады: абсолютная истина — вероятная истина — размытая истина (гл. 9).
54. Дайте объяснение утверждению: «Как ни иронично и ни парадоксально, но для описания природы неясности и неточности в области мягких систем требуется математическая строгость теории размытых множеств».
55. В чем заключаются недостатки некоторых из статистических данных по США? Дайте оценку следующим положениям:
  1. Валовой национальный продукт как показатель а) уровня и б) «качества» жизни.
  2. Стандартные сводки ФБР о преступности в качестве показателей того, что следует предпринимать для снижения уровня преступности и уменьшения числа правонарушений.
  3. Цифровые данные службы безопасности движения о числе смертных случаев в качестве показателей того, как покончить с небрежностью водителей автомашин и снизить число столкновений (гл. 10).
56. До 1965 г. экономический совет при президенте оценивал уровень бедности, исходя из минимального годового бюджета, требуемого представителям различных слоев для поддержания нормального уровня жизни. Согласно классификации экономического совета, семьи с общим годовым доходом ниже 3000 долл. и одиночки с общим годовым доходом ниже 1500 долл. причислялись к «бедным». Этот показатель был в 1965 г. заменен «переменным индексом бедности», разработанным администрацией социального обеспечения. В соответствии с этим индексом при определении границы бедности в расчет принимается «размер семьи, живет ли она на ферме или нет, возраст, пол, национальность». Внимательно продумайте эти два показателя бедности и скажите, свободен ли второй показатель от тех критических замечаний, которые могут быть выдвинуты против первого. Может ли новый индекс служить основой для деятельности, направленной под лозунгом «война против бедности»? (См. работы [16] в гл. 10.)
57. «Министерство здравоохранения, образования и социального обеспечения США субсидируют (или могли бы субсидировать) несколько программ борьбы с болезнями; целью этих программ является спасение жизни или предупреждение нетрудоспособности вследствие некоторых заболеваний... Если бы дополнительные денежные средства были выделены на программы борьбы с болезнями, какие программы обеспечили бы самый высокий выход, т.е. число спасенных жизней и предотвращенных случаев нетрудоспособности на один затраченный доллар?» (См. работу Grosse R. N., *Problems of Resource Allocation in Health*, in Haveman R. H., Margolis J. (eds.), *Public Expenditures and Policy Analysis*, Chicago,

Markham Publishing Company, p 532.) Для двух распространенных болезней, например сердечно-сосудистых и рака, определите стоимость национальной программы, которая уменьшила бы смертность по каждой из болезней на 10 000 человек. Оцените затраты на программу и затраты на спасение жизни пациента для обоих случаев. Можете ли вы оценить эффект от дополнительного вложения 500 000 долл. в каждую из этих программ и указать соответствующие числа сохраненных жизней? Что бы вы рекомендовали? (См. гл. 11 и работу [25], приведенную в литературе к данной главе.)

58. Необходимо собирать данные по показателям работы системы, которые должны не просто фиксировать наше движение к определенной цели, но оценивать его и измерять. К сожалению, большая часть статистических данных, включая так называемые экономические показатели в том виде, в каком их представляют сейчас, не позволяет оценить возможные программы и стратегии. По словам М. Хофенберга, такие статистические данные являются результатом процесса «администрирования», а не «оценивания». Покажите разницу между статистическими данными, являющимися результатом процессов «администрирования» и «оценивания». Такое ли это различие, как то, которое делается между «описательной статистикой» и «предписывающей статистикой»? Перечислите требования, предъявляемые к обоим статистикам. (См. гл. 10, а также работу [31], приведенную в списке литературы к данной главе.)
59. В продолжение предыдущего вопроса проделайте следующее: подберите статистические данные, обработанные какой-нибудь из национальных служб или правительственных организаций (можно на федеральном уровне или на уровне штата), и скажите, относятся ли эти статистические данные к «описательным». Если они являются «описательными», как их сделать «предписывающими»? Дайте точное определение и объяснение (гл. 10).
60. Определите, соответствуют ли рассмотренные в предыдущем пункте статистические данные всем требованиям, которые установлены для социальных показателей и перечислены в гл. 10.
61. Ознакомьтесь с материалами, представленными Административным и бюджетным управлением США, «Социальные показатели 1973» (Вашингтон, 1973 г.).

Выберите одну из областей, рассмотренных в этом исследовании, и составьте доклад о «состоянии страны» в данной области. Представьте в форме таблиц статистические данные, собранные из других статистических сводок. Вы должны разобраться в информации, приводимой в таблицах, и оценить, отражают ли статистические данные реально существовавшие социальные условия. Сравните данные за два периода, отделенные не менее чем десятью годами. Покажите, имел ли место за это время прогресс или ухудшение. Могут ли ваши статистические данные явиться «трамплином для действия»? Если нет, то почему? Предлагаемые области исследования могут быть выбраны непосредственно из отчета и относиться к здравоохранению, общественной безопасности, образованию, проблеме занятости, доходу, жилищному строительству, досугу и отдыху (гл. 10).

62. Проанализируйте проблему, связанную с одиоразовым и многократным использованием продуктовой тары: бутылок и консервных банок, рассматривая их как полную систему. Такой анализ предполагает применение модели полных затрат, аналогичной приведенной в гл. 12. Просмотрите пример 3 из гл. 12, в котором оптимизируются полные затраты на управление учетом и отчетностью, или пример из гл. 13, где подсчитываются затраты на различных уровнях сталелитейного промышленного комплекса. Ваша модель должна включать следующие компоненты:

1. *Издержки, связанные с сохранением окружающей среды.* Для производства контейнеров одноразового использования требуется больше сырья, чем для контейнеров многократного употребления. Следует также учесть фактор загрязнения среды и его влияние на качество жизни.
2. *Муниципальные издержки.* В этот вид издержек входят, кроме всего прочего, затраты на выделение больших территорий для ликвидации бутылок и банок.
3. *Издержки потребителя.* Контейнеры одноразового применения могут обходиться дороже, но они удобнее. Контейнеры многократного использования дешевле для потребителя, поскольку для розничного и оптового торговца нет необходимости нести дополнительные расходы по их хранению и ликвидации (см. ниже).
4. *Издержки розничных и оптовых торговцев напитками.* Торговцы предпочитают одноразовое использование бутылок и банок, что освобождает их от забот по санитарной обработке и хранению.
5. *Издержки производителей контейнеров.* Ликвидация контейнеров означает их дополнительное производство, в то время как они могли бы быть использованы 10—20 раз.
6. *Издержки других подсистем.* Анализируя два указанных варианта, берите только те затраты, которые различаются для ваших систем. Подсчитайте затраты в пределах полной системы при постоянном объеме производства напитков для двух рассматриваемых вариантов.
63. Примените индекс качества, используемый Национальной федерацией охраны диких животных, с тем чтобы определить, можете ли вы обнаружить улучшение в оценках различных категорий окружающей среды в районе, где вы живете (гл. 10).
64. Примените дельфийский метод к трем или четырем группам ваших знакомых для того, чтобы установить относительное ранжирование ими факторов качества жизни, а затем сравните полученные результаты с результатами, представленными в табл. 10.2.
65. Найдите показатели вашего района в работе Ben-Chieh Liu, *Quality of Life Indicators in U. S. Metropolitan Areas: A Statistical Analysis*, New York, Praeger, 1976. Согласны ли вы с ними (гл. 10)?
66. Расчет затрат на производство продукции производится на основе модели, аналогичной приведенной на рис. 11.8. Затраты на производство включают прямые и косвенные расходы. Прямые расходы складываются из заработной платы рабочих и расходов на сырье. В свою очередь начисляемая сумма зарплаты зависит от тех моделей, по которым измеряются издержки на рабочую силу в расчете на единицу продукции. Эти модели строятся на допущениях, касающихся принятых стандартов измерения работы, оценок интенсивности труда, а также различных скидок на утомляемость, условия работы и т. п. Ставка накладных расходов — это расчет, основанный на той модели, с помощью которой фиксированные расходы распределяются по нескольким категориям. Составьте схему модели затрат для выбранного вами вида продукции. Покажите, что расходы на единицу продукции, которые вы получите, непосредственно зависят от тех допущений, на которых вы построили свою модель, и что при других допущениях вы бы получили совершенно иные расходы на единицу продукции (гл. 11).
67. Примените модель прибыль — издержки из гл. 11 к любой выбранной вами социальной проблеме. Может представить интерес попытка найти значения издержек и прибыли по одному из проектов, предлагаемому какой-либо организацией в вашем районе. Не окажется ли более подходящим использование каких-нибудь других моделей, рассмотренных в гл. 11?
68. На примере программы лечения метадонем, описанной в гл. 11, видно, как можно численно оценить затраты и выгоды этой социальной

- программы с тем, чтобы обосновать ее принятие. Составьте другую программу, в которой нашли бы отражение аналогичные трудности в проведении измерений и численном определении.
69. Сравните профили приведенных затрат для двух проектов (см. рис. 11.2) и покажите, как процентная ставка, которую вы выбрали, может изменить рекомендованный к принятию проект (гл. 11).
70. Покажите на примерах применение четырнадцати основных правил измерения и оценки издержек и прибылей, перечисленных в гл. 11.
71. Примените показатели затраты — эффективность, описанные в гл. 11, к программе образования, которая по контракту передана некоторому частному агентству. Оцените успехи, достигнутые при реализации этой программы.
72. Проведите ранжирование преподавательского состава вашего факультета на предмет продвижения по службе. Для этого используйте общую процедуру сравнения вариантов со многими параметрами, описанную в гл. 11.
73. Используйте указанную выше процедуру сравнения для ранжирования колледжей, в которые вы собираетесь подавать заявления о приеме на работу по окончании института; для ранжирования тех предложений работы, которые вы получите по окончании института; для ранжирования девушек, с которыми вы встречаетесь.
74. Примените алгоритм Кли к тем практическим примерам, которые вы выбрали в соответствии с вопросами пп. 69 и 70, и посмотрите, получаются ли у вас одни и те же результаты.
75. Воспользуйтесь системой оценки окружающей среды или моделью планирования водных ресурсов для решения многопараметрических вариантов, рассматриваемых в вашем районе. Используя эти методы в своих целях, остерегайтесь многочисленных ловушек и опасностей, которые могут возникнуть при применении этих методов.
76. На рис. 13.1 показано пространство принятия решений. Приведите примеры реальных задач, соответствующих описанию ситуаций принятия решения в каждом из четырех квадрантов пространства.
77. Изложите ваше понимание метода «расчлененного инкрементализма» и «системного подхода»; сравните их в качестве методов решения социальных проблем. Напомним, что с помощью первого метода мы движемся через последовательность продуманных «ходов» в направлении «от известных социальных бед», а не по пути к «определенной, относительно стабильной цели». Метод «расчлененного инкрементализма» схож с методом улучшений. Системный подход утверждает, что такой метод никогда еще не приводил к решению какой бы то ни было проблемы. Он решает только мелкие, локальные задачи, игнорируя глобальную проблему. Выдвиньте свои за и против. Рассмотрите трудности применения системного подхода в случаях слабого понимания и значительных изменений (гл. 1 и 13, обратите внимание на рис. 13.1, квадрант 4).
78. В гл. 13 был приведен пример со сталелитейным комплексом. Дайте другой пример, иллюстрирующий проблему выбора правильных целей для полной системы и подсистем; пусть при этом вы получите некоторые положительные и отрицательные результаты.
79. Дайте определение терминов «оптимизация» и «субоптимизация». Как достичь оптимума и субоптимума? Какая дилемма встает в связи с этим, о которой упоминается в книге? Как она решается (гл. 13 и 14)?
80. Приведите практические примеры применения принципов, которые позволяют хорошо провести субоптимизацию. В каждом случае объясните, почему желательно найти субоптимальное решение вместо того, чтобы пытаться найти оптимум (гл. 13 и 14).
81. Объясните противоречие между сложностью и простотой, о котором шла речь в гл. 14. В чем заключаются недостатки так называемых упроще-

- ний и моралистического стиля? Противопоставьте методы тех, кто упрощает, и тех, кто усложняет, на примере того, как бы они решили выbranную вами проблему (гл. 2 и 14).
82. Поясните, в чем заключается дилемма между сложностью и простотой в науке. Свяжите ваши рассуждения с вопросом о единстве знаний, рассмотренным в гл. 2 (гл. 14).
83. Укажите различия между следующими типами сложности: объективной, организационной, концептуальной (связанной с познавательной и субъективной сложностью), сложностью окружения и полной сложностью производственной системы в целом. Эти типы сложности были упомянуты при обсуждении общей теории систем и структуры систем (гл. 3) при рассмотрении феномена сложности производственных систем (гл. 14) и вопросов, связанных с управлением систем (гл. 18).
84. Теория мотивации Маслоу основана на иерархии потребностей. Разработайте модель теории организаций, в которой цели данной организации упорядочиваются в соответствии с некоторой иерархией. На нижнем уровне иерархии находятся такие цели, как «выживание» и конкурентоспособность. По мере того как компания начинает преуспевать и выживание уже обеспечено, приобретает актуальность вопрос расширения. Когда организация довольно большая, одной из ее целей может стать борьба с загрязнением окружающей среды. Рассмотрите вопрос о том, насколько жизненной может оказаться такая теория организаций, цели которых образуют иерархическую структуру (гл. 6 и 14).
85. Приведите примеры, иллюстрирующие слова Ньюэлла о том, что эффективные методы решения задач обладают низкой степенью общности (высокой специфичностью), а общие — высокой общностью (низкой специфичностью) (рис. 14.2 и относящийся к нему текст).
86. Изложите свою теорию субоптимизации и субоптимума. Введите в нее как можно больше принципов, которые позволяют осуществить хорошую субоптимизацию (гл. 13). Включите в нее также элементы теории оптимизации из приложения к гл. 14. Читателям с хорошей математической подготовкой рекомендуем написать аксиоматическую теорию, принципы которой могут быть выведены один из другого, а следовательно, в вашей теории противоречий не будет. Можно воспользоваться нематематическим языком (гл. 13 и 14).
87. Объясните причины расходов, связанных с централизацией и децентрализацией, используя модель полных затрат. Сравните две системы, состоящие из двух находящихся на удалении предприятий и одного централизованного руководящего органа. В централизованной системе руководящий орган принимает все решения и делает все расчеты, касающиеся технологических и производственных возможностей упомянутых предприятий. Эти предприятия должны направлять всю свою технологическую информацию в руководящий орган. В случае же децентрализованной системы такая информация в высестоящий орган не поступает; предприятия ограничиваются лишь своими предложениями и соображениями. Руководство рассматривает эти предложения, соотносит их с ресурсами полной системы. Общий оптимум достигается в процессе постепенной корректировки и изменения предложений предприятий; этот процесс завершается за несколько итераций (см. работы [26—28] в гл. 14). Сравните два указанных варианта по следующим пунктам:
1. Капитальные затраты (на приобретение вычислительных средств, запоминающих устройств и средств связи).
  2. Эксплуатационные затраты (на выполнение вычислений, хранение, передачу информации).
  3. Вмененные издержки.
  4. Поведенческий фактор (инициативность администрации, контроль за выполнением решений, реализация решений и т. д.) (гл. 14).



88. Объясните, чем отличается рассмотренная в гл. 14 модель декомпозиции общей цели (см. работы [33, 34] в литературе к этой главе) от традиционных моделей декомпозиции (см. работы [29—31] в литературе к той же главе). Какие дополнительные свойства отражены в этой модели?
89. Дайте объяснение отношениям между исследователем и руководителем для матрицы реализации, предложенной Чёрчменом и Шейнблатом. Подберите примеры по четырем позициям: с разделенными функциями, убеждения, коммуникации, взаимного понимания (гл. 15). Обратитесь к первоисточнику: Churchman C. W., Schainblatt A. H., *The Researcher and the Manager; A Dialectic of Implementation*, *Management Science*, 11, 4, 1965; 12, 2, 1965.
90. Что такое «познавательный стиль» и как он влияет на процесс реализации? Объясните четыре позиции на рис. 15.2.
91. Как следует модифицировать традиционные методы промышленной технологии, для того чтобы учесть рекомендации, приведенные в гл. 15, по успешной реализации системы?
92. В конце гл. 15 приведен пример, иллюстрирующий выполнение Закона о борьбе с бедностью. Проследите те же самые шаги примера по данным реализации какого-нибудь закона или законопроекта в вашем округе или штате.
93. В своей книге (работа [10] в литературе к гл. 15) Хайсменс обращается к экспериментам Чёрчмена — Ратуша. Эти эксперименты были предприняты с целью показать, что администраторы неохотно осуществляют предложения по усовершенствованию. Спланируйте свой эксперимент и сравните успехи по осуществлению планов экспериментальной группы с тем, что будет достигнуто контрольной группой. Подберите простую задачу, рассчитанную на студентов. Вы можете воспользоваться дельфийским методом (см. гл. 16) для выбора единодушно принимаемого студентами способа достижения усовершенствования, который вы пытаетесь осуществить в своем эксперименте. Выбранный способ должен учитывать исходную гипотетическую ситуацию и модель того, что вы должны достичь.
94. Проанализируйте процедуры планирования в каком-либо органе управления по вашему выбору. Определите, ведется ли процесс проектирования систем на законной основе, что позволит избежать недовольства заинтересованных лиц (гл. 5, 16 и 19).
95. Примените две модели допущений планировщика для того, чтобы составить общий план высшего образования в вашем штате. Чем будут различаться ваши проекты в результате разных допущений и различного миропонимания планировщиков (гл. 4 и 16, табл. 16.1)?
96. Как две модели допущений планировщика повлияют на законопроект об охране окружающей среды, который будет рассмотрен на очередной сессии законодательного органа? Проанализируйте исходные предпосылки и миропонимание членов этого органа и составьте прогноз относительно итогов голосования в ходе обсуждения. Совпадают ли их допущения с предпосылками избирателей (гл. 4, 16 и 17)?
97. Приведите пример решения на уровне муниципалитета или района и проанализируйте мнения ЛПР, которые участвуют в обсуждении важных вопросов. Что бы вы предприняли для повышения степени согласия между отдельными группами (гл. 16)?
98. Укажите, как можно использовать дельфийский метод или его модификации в работе организаций, к которым вы имеете какое-либо отношение.
99. Проведите экспериментальную проверку дельфийского метода на каком-либо процессе. Какой из методов лучше использовать для вашего случая: метод достижения согласия или дельфийский? В чем преимущества и недостатки применения дельфийского метода (гл. 16)?

100. В гл. 16 говорилось о том, что дельфийский метод следует рассматривать как «инструмент исследования и планирования». Не рекомендуется пользоваться им в качестве «инструмента управления». Дайте объяснение и приведите примеры каждого из указанных случаев применения метода.
101. Организуйте дельфийское совещание, подключив терминалы с разделением времени к ЭВМ, имеющейся в вашем колледже или институте. Поставьте перед участниками задачу, которая заведомо имеет решение, и проследите за успехами участников конференции в реальном масштабе времени (гл. 16).
102. Составьте и решите задачу, используя метод парного сравнения оценок, данных несколькими экспертами. Подсчитайте коэффициент соответствия Кендала и коэффициент согласия для определения степени единодушия экспертов (гл. 16).
103. Объясните значение термина «законность опроса», о котором шла речь в гл. 16. В чем заключается его сходство с понятием «законность власти» и отношениями, существующими между руководителем и подчиненным?
104. Опишите два типа обратной связи, которые требуются, чтобы стать специалистом; речь идет о «знании о результатах» и «знании о выполнении». Рассмотрите, как новичок становится водителем автомобиля; затем — как рядовой водитель становится автогонщиком. Есть ли какая-нибудь разница в процессах обучения?
105. В гл. 17 упоминалось о том, что специалист может быть оценен по пяти критериям. Проведите сравнение двух групп специалистов или двух людей. Продумайте постановку эксперимента и методы измерений, с помощью которых можно использовать указанные пять критериев для оценки групп или индивидуумов.
106. Проанализируйте вопрос о том, как здравый смысл, согласованность со своими убеждениями, верное понимание реальности и правильность выбора «правил синтеза» влияют на формулировку суждений эксперта (гл. 17).
107. Сравните пять эпистемологических моделей, приведенных в гл. 17, и объясните, какие черты каждой из них вы бы хотели ввести в современную систему проектирования систем. Чёрчмен изложил свою точку зрения по этому вопросу в работе *The Design of Inquiring Systems*, Basic Books, New York, 1971. (Гл. 17.)
108. Опишите тесты, которые вы применили бы на каждом шаге процедуры проверки объективности количественной оценки суждений (рис. 11.12). Для иллюстрации каждого из ваших тестов предложите простой эксперимент.
109. Приводимая ниже задача относится к измерению расхождений между распределениями согласия. Это особый тип распределения, который выводится из сочетания распределений вероятностей суждений, принимаемых несколькими экспертами при оценке некоторого параметра. Результирующее распределение представляет «единодушие» опрошенных. Существует несколько способов комбинирования отдельных распределений для получения распределения согласия (см. работу [21] в гл. 17). Сейчас нас интересует вопрос о применении двух различных методов получения распределения согласия с целью сравнения двух списков оценок, которые будут получены экспертами в результате эксперимента.

I. Получите субъективные распределения вероятностей оценки некоторого параметра четырьмя экспертами. Объедините эти распределения для получения распределения согласия, пользуясь двумя вариантами метода взвешенного среднего, предложенного Уинклером: 1) веса пропорциональны самооценкам и 2) веса пропорциональны оценкам, которые вы проставите экспертам.

II. Оцените разницу между двумя полученными распределениями согласия с помощью измерения «максимального вертикального расхождения

между функциями распределения частоты», которые могут быть получены из каждой плотности распределения. Согласно Уинклеру (работа [21] из гл. 17), «это [расхождение] аналогично статистике Колмогорова — Смирнова, которая основывается на критерии согласия Колмогорова — Смирнова».

III. Используйте разницу между полученными выше распределениями согласия для сравнения вашей личной оценки экспертизы, проведенной экспертами, с их самооценкой.

IV. Приведите соображения о возможности использования такого сравнения в качестве метода оценки надежности экспертов и точности их суждений (гл. 16 и 17, работы [56—62] в гл. 11).

110. Этот вопрос тоже относится к распределению согласия. Предположите, что имеется распределение субъективных вероятностей того, как четыре эксперта оценивают данный параметр. Предположите далее, что распределения вероятностей сведены к двум различным распределениям согласия с помощью двух методов, предложенных Уинклером (работа [21] из гл. 17). Некоторое время спустя оценивавшийся параметр может быть практически измерен, а следовательно, субъективные оценки могут быть сопоставлены с реальными.
  1. Можно ли сказать, что один из экспертов оценивает лучше другого, если распределение субъективной вероятности первого ближе к фактическому значению измерявшегося параметра?
  2. Дано, что одно из распределений согласия, полученных двумя методами комбинирования распределений субъективных вероятностей, ближе других подходит к форме распределения вероятностей, определенных экспериментально. Можно ли сказать, что один метод сочетания распределений лучше, чем другой? Дайте обоснованные ответы на оба вопроса (гл. 17).
111. Согласны ли вы с утверждением, что функция диагностирования должна выполняться только экспертами? Обоснуйте свой ответ (гл. 17).
112. Сравните традиционную таксономию с современными систематиками. Объясните, почему таксономия и классификация считаются формой измерения (гл. 17).
113. Сравните традиционный подход к решению проблемы диагностирования с более современными. В частности, рассмотрите вопрос о том, как в каждом случае понимается переходная область от нормального состояния к аномальному (гл. 17).
114. Рассмотрите утверждение из гл. 17: «Повреждения и сбои являются сложными открытыми системами».
115. Примените модель распределения функций управления Литерера к изучению проблемы самоотчуждения в группах астронавтов НАСА. В цикле работы этой организации различные функции разделены между группами, но уровень самоотчуждения низок. Почему? Подходит ли модель для этого случая или необходимо воспользоваться еще какими-нибудь методами (гл. 18)?
116. С помощью принципов, указанных на рис. 18.11 и 18.12, определите степень централизации и децентрализации организации, где вы работаете. Как бы вы изменили существующее положение для оптимизации целей на высших уровнях управления (гл. 18)?
117. Внесите усовершенствования в модели управления, предложенные для управления качеством службы здравоохранения. Подумайте, к каким стимулам для врачей можно прибегнуть, чтобы понизить расходы, связанные с медицинским обслуживанием, сохранив качество последнего.
118. Составьте список принципов управления, приведенных в гл. 18. Добавьте те, которые, по вашему мнению, упущены. Примените эти принципы к вашей курсовой работе и укажите их возможную эффективность.
119. Изучите, как работает в вашем районе система обеспечения благосостоя-

- ния. Решите, подходят ли принципы управления к этой системе. Как бы вы перестроили ее, чтобы создать внутренние стимулы регулирования расходов без снижения прибылей (гл. 18)?
120. Процесс достижения конечного состояния открытыми системами зависит от «саморегулирования». Что понимают под саморегулированием применительно к какой-либо организации? Сформулируйте принципы и условия, которые обеспечат саморегулирование (гл. 18)?
  121. Проследите использование бюджетов и укажите различия в их характеристиках, когда они служат средством контроля, управления или планирования (гл. 18 и 19).
  122. В какой степени принципы управления, сформулированные Биром при изучении физиологии мозга, применимы к организациям? Не являются ли черты, которые он относит к необходимым, в какой-то степени «противоречащими» принципам, полученным интуитивным путем? Подтвердите ваши утверждения примерами (гл. 18).
  123. Выведите уравнения, с помощью которых можно показать, что при наличии отрицательной обратной связи выходной сигнал уменьшается с увеличением сигнала на входе, а при наличии положительной обратной связи выходной сигнал возрастает и может привести к выходу системы из строя, если не будут приняты соответствующие меры. Приведите примеры обоих случаев из реальной жизни и укажите меры по компенсации положительной обратной связи, которые следует принять, чтобы поддерживать систему в состоянии равновесия (гл. 18).
  124. Дайте определение понятий «гомеокинетическое плато», «порог», «стабильность», «живучесть», «оптимальное дозирование управляющих воздействий» и «необходимое разнообразие», введенных в гл. 18.
  125. Сравните теории планирования, основанные на общей теории систем, теории эволюции, бихевиоризме, кибернетике, а также на методе технологических оценок (гл. 19).
  126. Что означает утверждение общей теории систем по планированию, что в экосистему — систему, охватывающую все системы, — должны входить окружающая среда и само планирование (гл. 19)?
  127. Классифицируйте различные теории планирования согласно предложенным Акоффом категориям: «инактивизм», «реактивизм», «преактивизм» и «интерактивизм» (гл. 19).
  128. Попытайтесь опровергнуть утверждения о том, что «свободу можно планировать» и что «дилеммы между планированием и свободой не существует». Увеличение степени планирования не обязательно ведет к меньшей свободе, скорее различные типы планирования включают в себе различные типы свободы. [См. гл. 19 и работу Van Gigh J. P., *Planning and Freedom, Management Science*, 22, 9 (May 1976).]
  129. Системный подход направлен на удовлетворение некоторых потребностей, обусловленных природой сложных систем и областью их существования. Укажите эти потребности и приведите конкретные примеры, из которых следует, что другими подходами воспользоваться нельзя (гл. 1, 2 и 20).
  130. Изучите работы, в которых Ривлин отмечает успехи в решении проблем, стоящих перед обществом, которые были достигнуты с помощью системного анализа и системного подхода. Возьмите какую-нибудь хорошо знакомую вам систему и дайте свою оценку успехов и неудач в применении указанных методов (гл. 20).
  131. Теперь, когда вы изучили данную книгу, можете ли вы привести примеры проблем, возникающих в связи с использованием системного подхода (см. гл. 20)? Может быть, у вас имеются свои соображения по поводу того, как эти дилеммы и проблемы могут быть решены в будущем?

132. В начале гл. 2 было указано, что системный анализ можно рассматривать как 1) методологию проектирования; 2) общую концептуальную схему; 3) новый научный метод; 4) метод анализа организаций; 5) системное управление; 6) метод, связанный с инженерным подходом к системам, исследованием операций, изучением зависимости затраты — эффективность и т. д.; 7) прикладную общую теорию систем.

Найдите в своем исследовании подтверждение каждому из перечисленных аспектов системного подхода. Отнеситесь к работе критически и, если у вас имеются возражения по поводу некоторых из приведенных выше точек зрения, дайте обоснование (гл. 2 и 20).

133. Найдите и выберите из задачи вашей курсовой работы вопросы, связанные с обеспечением технической, экономической, правовой, общественной и политической рациональности. Сможете ли вы решить все эти вопросы оптимальным образом? При окончательном решении какой бы вес (в процентном выражении) вы придали каждому из указанных факторов? Какой процент от общей суммы вы бы отвели этическим аспектам (гл. 20)?
134. Считаете ли вы, что социологи должны руководствоваться в своей деятельности интересами общества? Обоснуйте свой ответ (см. работу [14] в литературе к гл. 20).
135. Думаете ли вы, что общественные науки могут сохранить свою независимую систему ценностей? Полагаете ли вы, что идеи системного подхода не согласуются с концепцией «расчлененного инкрементализма» как метода решения социальных проблем?
136. «Расчлененный инкрементализм» в гл. 13 и 20 был введен как описательная модель того, как мы решаем проблемы своего общества путем выполнения небольших поэтапных улучшений достигнутых позиций. Можно ли отнести системный подход к моделям, предписывающим, как нам следует решать свои проблемы?
137. Изложите ваши соображения по поводу того, что же такое системный подход и прикладная общая теория систем. Опишите основные идеи и точки зрения. Как вы думаете, является ли системный подход просто преходящей модой или он достигнет своего расцвета и будет использоваться при планировании на правительственном уровне и в промышленности?
138. Совместим ли системный подход с фрагментарностью правовых и политических положений, регулирующих все стороны жизни? Как мы сможем совместить требования интеграции и сохранения существующих общественных организаций?
139. Системный подход был создан для удовлетворения ряда потребностей (см. гл. 20). Обсудите вопрос, до какой степени этот подход оправдал ожидания в этом плане.
140. Объясните различие между жесткими и мягкими системами и между соответствующими теориями систем. Начните свой ответ с рассмотрения методологических различий между двумя типами, между этими теориями и того, как эти различия влияют на методологические подходы научной и системной парадигм.
141. Рассмотрите и выскажите свое мнение о цитате из работы Паскаля, которая взята в качестве эпиграфа к этой книге: «Я считаю, что познать части без знания целого так же невозможно, как познать целое без знания его частей».

## ЛИТЕРАТУРА ДЛЯ НАЧАЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ

Литература, приведенная в конце каждой главы, имеет специализированный характер. Для начального ознакомления с рассматриваемыми проблемами мы рекомендуем помещенную ниже литературу, включающую периодические издания, статьи и книги. К сожалению, здесь невозможно перечислить все издания в различных областях, связанных с системным подходом, которые заслуживают внимания. Содержащиеся здесь источники отражают лишь личные склонности автора. Привести все достойные упоминания работы просто невозможно — так стремительно появляются все новые и новые публикации.

### Периодические издания

1. *Annals of Systems Research*, Martinus Nijhoff, Publisher, The Netherlands, Leiden.
2. *Behavioral Science*, Journal of the Society for General Systems Research, University of Louisville, Louisville, Kentucky.
3. *General Systems*, Yearbooks of the Society for General Systems Research, USA, Washington D. C.
4. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Institute of Electrical and Electronics Engineers, USA, New York.
5. *International Journal of General Systems*, Gordon and Breach Science Publishers, England, London, USA, New York.
6. *Journal of Applied Systems Analysis*, University of Lancaster, England, Lancaster.
7. *International Journal of Systems Science*, Taylor and Francis Ltd., London.
8. Publications of the *Human Systems Management Circle*, Columbia University, New York, Department of Management, Louisiana State University, Baton Rouge.
9. *International Journal of Man-Machine Studies*, England, Academic Press, London, New York.
10. *Kubernetes, International Journal of Cybernetics and General Systems*, England, London.

### Книги и статьи

1. Ashby W. R., *An Introduction to Cybernetics*, Wiley, New York, 1963. [Имеется перевод: Эшби У. Р. Введение в кибернетику. — М.: ИЛ, 1959.]
2. Beer S., *Brain of the Firm*, Herder and Herder, New York, 1972; Beer S., *Platform for Change*, Wiley, New York, 1975.
3. Beishon J., Peters G., *Systems Behaviour* (2nd ed.), Harper and Row, New York, 1976.
4. Buckley W., *Modern Systems Research for the Behavioral Scientists*, Aldine, Chicago, 1968.
5. Churchman C. W., *The Systems Approach*, Delacorte, New York, 1968; *Challenge to Reason*, McGraw-Hill, New York, 1968; *The Design of Inquiring Systems*, Basic Books, New York, 1971.

6. Dalkey N. C., *Studies in the Quality of Life: Delphi and Decision Making*, Heath, Lexington, Mass., 1972.
7. Emery F. E. (ed.), *Systems Thinking*, Penguin, Middlesex, England, 1969.
8. *General Systems*, vol. 1—21 (1956—1977), Washington, D. C.
9. Helmer O., Rescher N., On the Epistemology of the Inexact Sciences, *Management Sciences*, 6, 25—52 (October 1959).
10. Hoos I. R., *Systems Analysis and Public Policy*, University of California Press, Berkeley, Los Angeles, 1972, 1974.
11. Klir G. J. (ed.), *Trends in General Systems Theory*, Wiley, New York, 1972.
12. Kuhn A., *The Logic of Social Systems*, Jossey-Bass, San Francisco, 1974.
13. Laszlo E., The Systems View of the World, Braziller, New York, 1972; A General Systems View of Evolution and Invariance, *General Systems*, 19, 37—43 (1974); The Meaning and Significance of General Systems Theory, *Behavioral Science*, 20, 1, 9—24 (1975).
14. Miller J. G., Living Concepts: Basic Concepts, *Behavioral Science*, 10, 1, 193—237 (1965); Living Systems: Structure and Process, *Behavioral Science*, 10, 4, 337—379 (1965); The Nature of Living Systems, *Behavioral Science*, 16, 4, 277—301 (1971); Living Systems: The Group, *Behavioral Science*, 16, 4, 302—398 (1971); Living Systems: The Organization, *Behavioral Science*, 17, 1, 1—182 (1972); The Nature of Living Systems, *Behavioral Science*, 20, 6, 343—365 (1975); Living Systems: The Society, *Behavioral Science*, 20, 6, 366—535 (1975); Living Systems: The Supranational System, *Behavioral Science*, 21, 5, 320—468 (1976).
15. The Open University of the United Kingdom Publications, England, The Open University.
16. Pattee H. H. (ed.), *Hierarchy Theory*, Braziller, New York, 1973.
17. Rubinstein M. R., *Patterns of Problem Solving*, Prentice-Hall, Englewood-Cliffs, N. J., 1975.
18. Sutherland J. W., *A General Systems Philosophy for the Social and Behavioral Sciences*, Braziller, New York, 1973.
19. Sutherland J. W., *Systems: Analysis, Administration, and Architecture*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1975.
20. Taschdjian E., Bertalanffy M. (eds.), *Perspectives on General Systems Theory-Scientific and Philosophical Studies*, Braziller, New York, 1975.
21. Van Court Hare, Jr., *Systems Analysis: A Diagnostic Approach*, Harcourt Brace Jovanovich, New York, 1967.
22. Van Gigch J. P., *Applied General Systems Theory* (2nd ed.), Harper and Row, New York, 1978.
23. Vickers G., *The Art of Judgment*, Basic Books, New York, 1965.
24. Weinberg G. M., *An Introduction to General Systems Thinking*, Wiley, New York, 1975.
25. Wiener N., *The Human Use of Human Beings* (2nd. rev. ed.), Doubleday, Garden City, New York, 1954.

## СЛОВАРЬ ОСНОВНЫХ ТЕРМИНОВ

*(Определение терминов соответствует их значению в книге и в ряде случаев отличается от общепринятого. В скобках указаны номера глав, где используются эти термины.)*

**Абстрактная система** — система, элементами которой являются понятия, а не реальные объекты, как в конкретной системе (гл. 2).

**Адаптация** — (приспособляемость, живучесть) способность системы сохранять свою структуру и выполнять свои функции при изменении внешних условий (гл. 2 и 18).

**Алгоритм** — пошаговая процедура, которая за конечное число шагов позволяет достигнуть решение, в частности оптимальное (гл. 9).

**Анализ, аналитический метод (метод улучшений)** — метод исследования, состоящий в разбиении целого на части и их раздельном изучении (гл. 1 и 9).

**Вмененные издержки** — издержки, связанные с выбором варианта, отличного от оптимального (гл. 6 и 7).

**Гомеокинетическое плато** — область, в пределах которой живые системы могут поддерживать состояние устойчивого равновесия (гл. 18).

**Декомпозиция** — метод решения, требующий разложения системы на подсистемы и элементы (гл. 14).

**Дельфийский метод** (туманный, неоднозначный) — специальный метод выяснения невысказанных в явной форме показаний с помощью анкетирования (гл. 16).

**Дилемма** — затруднительный выбор между двумя имеющимися возможностями (гл. 2 и 20).

**Дуальность** — двойственность, два противоположных значения спектра.

**«Жесткая» система** — система, исследование которой относят к области физических наук; для этой системы типичны однозначные зависимости (гл. 2).

**Живучесть (жизнеспособность)** — способность системы оставаться в пределах области равновесия (гл. 18).

**Иерархия** — многоуровневая структура элементов или событий, позволяющая производить ранжирование по уровням (гл. 3 и 14).

**Измерение** — процесс, в результате которого качественные наблюдения преобразуются в количественные утверждения и оценки (гл. 8).

**Императивы** — нормы, обязательства, которые накладываются на системы технологий или обществом (гл. 7 и 20).

**Истина** — знание, которое удовлетворяет теоретическим стандартам, или решение проблемы, которое признается приемлемым вследствие подтверждения на практике (гл. 4, 17 и 20).

**Качество жизни** — социальный показатель, дополняющий экономический показатель — валовой национальный продукт на душу населения, — которым оценивается уровень жизни (гл. 10).

**Кибернетика** — наука об управлении и связи в живых системах, в обществе и в системах человек — машина (гл. 18).



**Компромисс** — действие, позволяющее ЛПР путем сравнения целей и средств взвесить их относительные достоинства, продумать взаимные замены и оценить степень достижения противоположных целей (гл. 16).

**Миропонимание** — совокупность четырех компонентов: предпосылок; допущений (предположений); познавательного стиля и системы познания, позволяющих ЛПР рассматривать стоящие перед ним целостные задачи (гл. 4 и 17).

**Многоцелевой, многопараметрический, многомерный** — характеристики целевых функций и моделей принятия решений, объединяющие внешне несовместимые переменные в целевые функции лица, принимающего решение (гл. 11).

**Модели** — это отображения объектов реального мира, которые помогают нам понять, как он устроен. Так, модели принятия решений используются для исследования процесса преобразования входа системы в ее выход и для выбора вариантов, которые удовлетворяли бы целям (гл. 5 и 11).

**Модель поведения** — модель, с помощью которой можно понять и оценить сложность производственных систем (гл. 14 и 18).

**«Мягкие» системы** — системы, которые в зависимости от условий окружающей среды могут принимать несколько состояний при тех же начальных условиях. Обычно с такими системами мы встречаемся в биологии и области общественных наук (гл. 3).

**Научный метод** — обобщенный подход физических и других наук, с помощью которого гипотезы постулируются, проверяются и затем обобщаются до уровня закона (гл. 9).

**Научная парадигма** — система понятий, принципов и методов, применяемых в точных науках (гл. 1).

**Неупорядоченность (беспорядок)** — состояние системы, отражающее степень энтропии, неопределенности или дезорганизации (гл. 2 и 18).

**Отрицательная обратная связь** — тип связи в системе управления, при которой некоторая часть выходного сигнала системы — обычно разница между истинным и желаемым результатом — подается на вход для того, чтобы поддерживать систему в определенных границах.

**Обусловленность, причинность** — понятие, лежащее в основе метода, изучающего причины отклонений работы системы от нормы (гл. 1, 9, 17).

**Общая теория систем** — относительно новая дисциплина, которая является основой и теоретическим обоснованием системного подхода (гл. 3).

**Общность** — область применимости понятия. В логике — объем понятия (гл. 2 и 3).

**Окружающая (внешняя) среда, окружение** — часть экосистемы; система, охватывающая все системы. Когда речь идет об открытых системах, существенно считать окружающую среду входящей в ту систему, которая разрабатывается (гл. 5 и 19).

**Оптимизация** — процесс, направленный на получение максимального (минимального) значения целевой функции, которое может быть достигнуто в замкнутой системе. Такое значение функции является субоптимумом для открытой подсистемы, входящей в другую систему (гл. 12 и 13).

**Отчужденность** — такое состояние социальной системы, при котором утрачивается роль индивидуума в обществе или организации; при этом индивидуум чувствует себя изолированным от общества (гл. 18).

**Оценивающая система** — система, способная производить оценки, делать выбор (гл. 18).

**Парадигма** — относительно замкнутая система понятий, принципов и методов (приемов), с помощью которой отображается специфика данного класса объектов и решаются соответствующие задачи. Например, три системные

парадигмы — комплексы средств для отображения «жестких», «мягких» или самоорганизующихся систем (гл. 1, 4, 5).

**Познавательный стиль** — в теории познания выделяются типы, или стили, рассуждения. См. также **Миропонимание** (гл. 4 и 15).

**Порядковая шкала** — наиболее сильная шкала измерений, которая может использоваться для решения многих задач из области общественных наук.

**Предположения, допущения** — основные положения, исходя из которых лицо, принимающее решение, выбирает вариант. См. также **Миропонимание** (гл. 4).

**Предпосылки** — исходные положения, в соответствии с которыми лицо, принимающее решение, выбирает вариант. См. также **Миропонимание**.

**Прикладная общая теория систем**. В данной книге используется как синоним терминов «системный подход» и «прикладная теория систем» (гл. 2).

**Принятие решений** — процесс мышления, лежащий в основе проектирования систем, с помощью которого составляются планы и выбираются варианты для реализации (гл. 4 и 5).

**Размытый** — неясный, нечеткий. Используется для описания объектов, которые имеют неточно установленные границы (гл. 9 и 17).

**Сбои, отказы** — отклонения от нормального режима функционирования.

**Свобода** — это не антитеза понятию «планирование», а результат проектирования системы, который зависит от триады: допущения — возможности — условия, играющей существенную роль в системе (гл. 19).

**Система познания** — одна из составных частей процесса, с помощью которой лица, принимающие решения, преобразуют факты (данные) в истину; система познания ЛПР зависит от взглядов последних. См. также **Миропонимание** (гл. 4 и 17).

**Системная парадигма** — система понятий, принципов и методов, применяемых при проектировании систем.

**Системный подход** — подход, обеспечивающий решение задач, связанных с большими системами. Этот подход имеет специально-методологическую функцию, давая ориентиры при решении системных задач (гл. 3). Системный подход имеет и теоретическую (расчетно-предсказательную) функцию, когда он трансформируется в общую теорию систем (гл. 1 и 2).

**Системы** — реальные или гипотетические ансамбли или множества связанных элементов (гл. 1).

**Сложность** — разнообразие множества элементов, функций системы и взаимосвязей между ними (гл. 3, 14, 20).

**Согласие (единодушие)** — согласованность оценок, суждений между агентами и реципиентами систем (гл. 16).

**Субоптимизация** — в случае сложных открытых систем согласованная субоптимизация (близкая к оптимальной) может оказаться значительно лучше, чем глобальная оптимизация. См. также **Оптимизация** (гл. 13).

**Суждение** — особая форма принятия решения, состоящая в использовании фактов из окружающей среды для получения оценок, которые не нарушают постулатов логики, совпадают с мнениями экспертов, с реальной действительностью (гл. 17).

**Теория информации** — математическая теория (теории), позволяющая определять количество информации в каналах связи как функцию вероятности передаваемых сообщений и сигналов. Такое измерение не включает оценок смыслового значения и ценности (важности) информации (гл. 18).

**Умственная (психическая) нагрузка** — компонент объективно существующей сложности и субъективной трудности совершения работы в производственных системах (гл. 14 и 18).

- Управление** — формирование и реализация целенаправленных действий на основе переработки информации, поступающей извне и(или) изнутри управляющей системы (гл. 18).
- Эволюция** — процесс, в ходе которого увеличивается сложность системы; противостоит энтропийным процессам, связанным с повышением рассеяния вещества и энергии и снижением степени организованности (гл. 3).
- Эвристика, эвристическое программирование** — процедура, позволяющая получить за конечное число шагов решение, близкое к оптимальному (гл. 9).
- Эквифинальность** — одинаковое конечное состояние, которое достигают открытые системы за счет взаимодействия с окружающей средой при различных исходных условиях (гл. 2).
- Эксперты** — лица, определяющие относительную ценность вариантов и их порядок (гл. 7).
- Энтропия** — мера неопределенности состояния системы или знаний о ней; в термодинамике и статистической физике этот термин означает степень неупорядоченности системы (гл. 2 и 18).
- Эпистемология, гносеология, теория познания** — раздел философии, изучающий черты, закономерности и формы процесса познания действительности, а также рассуждения, в результате которых достигается истинное знание (гл. 4 и 17).
- Этика проектирования** — кодекс правил и ограничений, которые необходимо выполнять при проектировании систем (гл. 7).

## ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Адаптация** 97  
**Алгоритм декомпозиционный** 482—487  
— **Кли** 389—395  
— **тестирования и утверждения стратегии** 236—238  
**Алгоритмы** 258, 259, 644, 645  
**Анализ затраты—эффективность** 361—367  
— **предпочтений, близостей и подобий** 385, 386  
— **прибыль — издержки** 343—351  
— **размерностей** 382  
— **факторный** 323  
**Аспекты проектирования системы этические** 188—216  
**Асимметричность** 488
- Взаимозамены** 156, 165  
**Взаимопонимание** 498—506  
**Входы** 29  
**Выбор** 112  
**Выход системы образования** 244—257  
**Выходы** 30
- Гипотезы** 257  
«Гомеокинез» 618  
«Гомеостаз» 617
- Дедукция** 27, 28  
**Декомпозиция** 470—472  
**Децентрализация** 479—482, 631—634, 695—697  
**Диагностирование** 577—580, 585—604  
**Дисперсия** 556, 557
- Дозирование (оптимальное) управляющих воздействий** 622  
**Допущения планировщика** 524—526  
**Дуализм** 64, 65
- Живучесть** 619, 620
- Задержки** 616, 617  
**Закон необходимого разнообразия** 623  
**Запаздывания** 616, 617  
**Затраты** 190  
**Знание о выполнении** 563  
— — **результатах** 564
- Иерархия** 70, 94—96, 467—469  
— **задач** 472—475  
— **моделей** 232—238  
— **управления** 641—642  
**Изменения организационные** 506—508  
**Измерение** 223—226  
— **проблемы** 241—257, 285—299  
**Идекс качества жизни** 318  
— — **окружающей среды** 320  
**Индукция** 27, 28  
**Индукция** 27, 28  
**Интроспекция** 20  
**Информация** 608—613
- Качество жизни** 314—328  
— — **измерение** 321, 322  
— — **использование дельфийского метода** 315  
**Классификация** 580—585  
— **иерархическая** 467, 468  
— **Миллера** 98

- Композиция 470—472, 569—572  
Компромиссы 156—185, 461, 462  
Коэффициент вариации 557, 558  
— согласия 547, 548  
— соответствия 546, 550—552  
Критерии единодушия 542—558  
— теории информации 553—556
- Логика символическая 588, 589
- Матрица платежная 162, 163  
— потеря 163, 164  
— программы — элементы 38, 39, 47  
— реализации 496—498, 503  
— сравнения 547, 548  
—  $S - R$ -соответствия 548—552  
Медиана 556  
Меры отклонения 556  
— эффективности 143  
Метод аддитивный стандартный 321, 322  
— — — усовершенствованный 322  
— дельфийский 436—541  
— «дельфийское совещание» 541  
— улучшений 452, 453, 702  
— частичных поправок 451, 452  
Методы достижения согласия 535—542  
— определения степени согласия 542—558  
— ранговой корреляции 546—552  
Механизмы центральные 646, 647  
Миропонимание ЛПР 115  
Модели вход-выход 414, 415  
— диагностические 343  
— затраты — эффективность 361—370  
— компромиссов 342  
— многокритериальные, принятия решений 532—535  
— многомерные 343, 370—414  
— многоцелевые 343, 370—414  
— одноцелевые 343—370  
— окружающей среды 320  
— оптимизационные 343, 444—446  
— оценочные 343  
— очередей 446  
— познавательные (эпистемологические) 343, 572, 573  
— полезности аддитивные 372, 373  
— — мультипликативные 373, 374  
— политические 321  
— психологические 320  
— прибыль — издержки 343—361  
— системной динамики 415—417  
— социологические 321  
— экономические 320  
Модель информационной связанности 509—511  
— максимизации меры эффективности 432, 433  
— — критического пути 433—437  
— планирования водных ресурсов 404—412  
— — критического пути 433—437  
Мониторинг качества жизни 325—328
- Надежность 542—544  
Нахождение экстремальных точек 424—427  
Неопределенность 64—66, 262, 263, 270—272  
Неясность, неточность 262, 263, 270—272
- Общая теория систем 79  
— — — будущее 703, 704  
— — — историческое развитие 79—84  
— — — математические аспекты 85—87  
— — — публикации 100—103  
Объект 17  
Объективные условия 317  
Объяснения 257  
Ограничения 610  
Определенность 262, 263  
Оптимизация 423—446, 459—460  
— прибыли 427, 428  
Организации 71

- Ответственность 626—628  
 Отклонение среднее абсолютное 557  
 Отношение согласия 557  
 Отношения субъективные 317  
 Отчетность социальная 306—314  
 Отчуждение 628—631  
 Оценивание 138, 143—146
- Парадигма научная 18  
 — системная 18  
 — самоорганизация 103, 104  
 Планирование 23, 24, 655—684  
 — различные стратегии 526—532  
 Планировщик 23—24  
 Плато «гомеокинетическое» 617—619  
 — «гомеостатическое» 618  
 Поведение нецеленаправленное 68  
 — управляемое 68, 69  
 — целенаправленное 68, 69  
 Подсистема 43  
 Подход интроспективный 28, 34  
 — системный 26, 54—60, 703, 704  
 — экстроспективный 28, 34  
 Показатели социальные 299—314,  
 404—406, 409—411  
 Предположения 115, 117, 118, 274,  
 275  
 Предпосылки 115—117  
 Прибыль дискреционная 151  
 Признаки см. Свойства системы  
 Принятие решений 32, 110, 111, 126  
 — — пример 238—240  
 Приоритеты 155, 156  
 Прогнозы 257  
 Программирование динамическое 446  
 — интерактивное 413, 414, 445  
 — линейное 177, 438—440, 444  
 — — модель 177, 178  
 — — симплекс-метод 180, 182  
 — целевое 412, 413, 437, 441—443,  
 445  
 — целочисленные 445  
 Проектирование систем 137—148  
 Пространство решений 449—450  
 Профиль подкритерия 386
- Равновесие 97  
 Разнообразие 609, 645  
 Разрывы 264, 265  
 Рациональность 694  
 Реализация 138, 147, 148, 495—516  
 Редукция 27, 28  
 Решения непрограммируемые 259—  
 262  
 — программируемые 258, 259  
 Риск 262, 263
- Саморегулирование 645, 646  
 Связь обратная 69, 613—615  
 Симметричность 488  
 Синтез 27, 28  
 Система 17  
 — в целом 17, 33, 34  
 — компоненты 31  
 — назначение 31  
 — национальной отчетности 328—332  
 — нервно-мышечная 643  
 — общая (полная) 17, 44  
 — основные понятия 29  
 — оценки окружающей среды 395—  
 403  
 — познания 115, 123, 124, 277, 278,  
 572—576  
 — потоки 32, 329  
 — программы 31  
 — рецепторная 646, 647  
 — свойства 31, 62—64  
 — состояния 32, 329  
 — цели 31  
 — ценностей 276, 277  
 — эффекторная 646, 647  
 Систематика 580—585  
 — Боулдинга 60—62  
 Системы декомпозируемые и др. 469,  
 470  
 — мягкие, методология исследования  
 697, 698  
 — проектирование 17, 27—29  
 — простые организованные 66  
 — сложные неорганизованные 66  
 — — организованные 67

**Системы**

- улучшение 17—27
- характеристик 73
- Сложность 93, 465—492, 694
- События необычные 269, 270
- Согласованность 519—558, 568—569
- Сравнение многомерных вариантов 373—381
- Среда окружающая (внешняя) 30, 31, 44, 45
- Стиль познавательный 115, 122, 123, 275, 276, 500—505
- Стратификация 96
- Структура программы 38, 45
- Субоптимизация 175, 449—463
- Субъект 17
- Суждения 566—568

**Таблицы входа-выхода 327**

- диагностические вероятностные 591—595
- комплексов симптомов и причин 589—591

**Таксономия 580—585****Теорема об информационной емкости канала связи 648****Теория жестких систем 102**

- катастроф 265—269
- мягких систем 103
- планирования 657—676
- размытых множеств 270, 280—282
- «смещенного идеала» 414
- субоптимизации 487—492

**Точность 542, 543, 545****Транзитивность 488****Узаконивание 519—524****Управление 39, 40, 608—651****Уровень 93****Устойчивость 619—620****Формирование стратегии 137, 139—143****Функция полезности 371****— принадлежности 272, 273, 600, 601****Цели организаций 149—154****Ценности 193—195****— критерии 189—193****Централизация 479—482, 631—634, 695—697****Цены содержательные 182****— теневые 183, 184****Цикл постижения истины 124, 126****— управления 624—640****Широта распределения интерквартильная 556****Шкалирование многомерное 381—385****Шкалы измерений 226—230****Эвристики 260, 644, 645****Экспертиза 475, 476, 561, 562****Эксперты 561, 562, 565, 566****Элементы входные 29****— выходные 30****Энтропия 64—66, 609**

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                                      |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Глава 11. Одно- и многоцелевые модели принятия решений . . . . .                                     | 341 |
| Глава 12. Оптимизация . . . . .                                                                      | 423 |
| Глава 13. Субоптимизация . . . . .                                                                   | 449 |
| Глава 14. Сложность . . . . .                                                                        | 465 |
| Глава 15. Реализация . . . . .                                                                       | 495 |
| Глава 16. Согласованность . . . . .                                                                  | 519 |
| Глава 17. Эксперты, экспертиза и диагноз . . . . .                                                   | 561 |
| Глава 18. Управление . . . . .                                                                       | 608 |
| Глава 19. Планирование . . . . .                                                                     | 655 |
| Глава 20. Критическая оценка полученных результатов, проблемы и будущее системного подхода . . . . . | 688 |
| Обзорные вопросы и курсовая работа . . . . .                                                         | 705 |
| Литература для начального изучения . . . . .                                                         | 721 |
| Словарь основных терминов . . . . .                                                                  | 723 |
| Предметный указатель . . . . .                                                                       | 727 |



Дж ван Гиг

ПРИКЛАДНАЯ ОБЩАЯ ТЕОРИЯ СИСТЕМ

Кн. 2

Научный редактор Л. А. Паршина  
Младший научный редактор Н. Н. Титова  
Художник Т. С. Андреева  
Художественный редактор Л. Е. Безрученков  
Технический редактор Л. П. Бирюкова  
Корректор К. Л. Водяницкая

ИБ 2367

Сдано в набор 10.03.81. Подписано к печати 04.09.81.  
Формат 60×90<sup>1/16</sup>. Бумага типографская № 2.  
Гарнитура литературная. Печать высокая. Объем  
12,5 бум. л. Усл. печ. л. 25 Усл. кр.-отт 25.  
Уч.-изд. л. 26,39. Изд. № 20/1731. Тираж 7000 экз.  
Зак. № 1099. Цена 2 р 40 к.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР»

129820, Москва, И-110, ГСП, 1-й Рижский пер., 2  
Набор выполнен на автомате НА-240 с перфолен-  
ты, изготовленной системой «Омега»

Ленинградская типография № 2 головное пред-  
приятие ордена Трудового Красного Знамени Ле-  
нинградского объединения «Техническая книга»  
им. Евгении Соколовой Союзполиграфпрома при  
Государственном комитете СССР по делам изда-  
тельств, полиграфии и книжной торговли  
198052, г Ленинград, Л-52, Измайловский проспект,  
29.