



БИБЛИОТЕЧКА ХОЗЯЙСТВЕННОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

**ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЭКОНОМИКА**

И. А. СТОЛЯРОВ

МАТЕМАТИКА И КИБЕРНЕТИКА В УПРАВЛЕНИИ

БИБЛИОТЕЧКА ХОЗЯЙСТВЕННОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

И. А. СТОЛЯРОВ

**МАТЕМАТИКА
И КИБЕРНЕТИКА
В УПРАВЛЕНИИ**

**ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭКОНОМИКА»
Москва — 1973**

Читателю знакома Библиотечка хозяйственного руководителя, выпускаемая издательством «Экономика». Уже вышло из печати около 60 брошюр. Их авторами являются видные учёные, работники плановых, хозяйственных органов и специалисты научно-технических учреждений.

Библиотечку выпускают также издательства «Знание» и «Финансы».

В библиотечке освещаются актуальные вопросы теории и практики организации и управления производством и отдельным предприятием на современном этапе развития народного хозяйства.

Брошюры библиотечки рассчитаны на инженерно-технических работников предприятий, партийно-профсоюзный актив, а также могут быть использованы как пособие на курсах по экономическому образованию кадров и повышению квалификации хозяйственных работников.

В настоящей брошюре в популярной форме излагаются современные математические и кибернетические методы управления экономикой, рассматриваются вопросы применения вычислительной техники в рамках автоматизированных систем управления.

Отзывы и пожелания просим направлять по адресу: 121864, Москва, ГСП-2, Бережковская набережная, 6, издательство «Экономика».

РЕДАКЦИЯ ЛИТЕРАТУРЫ ПО ОРГАНИЗАЦИИ
И УПРАВЛЕНИЮ НАРОДНЫМ ХОЗЯЙСТВОМ

Каждая ступень развития народного хозяйства характеризуется определенными формами, методами и средствами управления. С течением времени они, естественно, претерпевают соответствующие изменения, адекватные изменениям условий функционирования хозяйственных объектов. Особенно бурные качественные изменения происходят сейчас в условиях научно-технической революции, которая поставила перед наукой управления множество сложнейших, требующих незамедлительного разрешения проблем.

В настоящий период структура отдельных экономических объектов, связи внутри них и между ними чрезвычайно усложнены. Например, современное промышленное предприятие — это сложнейший организм, взаимодействующий со множеством других объектов. Здесь нельзя организовать достаточно эффективный, тем более оптимальный, процесс управления, используя только традиционные методы и средства. Как указывалось на XXIV съезде КПСС, «Особое внимание во всех звеньях хозяйственной системы — будь то предприятие, объединение, министерство или Госплан — необходимо уделять оптимальности принимаемых решений»¹. А принимать такие решения можно только на базе совершенной вычислительной техники с использованием методов математики и кибернетики.

Кибернетика, экономико-математические методы и ЭВМ — это взаимосвязанные элементы, представляющие своеобразный комплекс. Эффективный процесс решения более или менее сложной экономической задачи нельзя представить себе хотя бы без одного из этих элементов, их развитие взаимообусловлено. С другой стороны, между ними имеются четкие границы, которые, к сожалению, видят не все. Еще довольно часто неправильно представ-

¹ Материалы XXIV съезда КПСС. М., Политиздат, 1971, с. 174.

ляют себе соотношение между кибернетикой и математикой, кибернетикой и вычислительной техникой, иногда даже отождествляют их. Кибернетика — это вполне сложившаяся наука, имеющая свой предмет и метод, она решает свои собственные, специфические задачи.

Применение экономико-математических методов, кибернетики и электронной вычислительной техники уже позволило получить ощутимые результаты в повышении эффективности планирования и управления народным хозяйством в целом и его частями. Только на их основе стало возможным разрабатывать оптимальные планы функционирования предприятий, объединений и целых отраслей. Как результат синтеза этих наук можно представить развивающуюся в настоящее время теорию оптимального функционирования экономики (ТОФЭ), которая позволит в обозримом будущем на основе строго сформулированных качественных предпосылок разработать оптимизационную модель планирования и управления народным хозяйством, включающую как органическое целое оптимизационные модели развития отдельных предприятий и отраслей.

В данной работе автор не рассматривает социальный аспект управления. Однако нельзя забывать, что социальные моменты играют определяющую роль в управлении. «Без учета социального аспекта нельзя ни практически управлять, ни сформулировать теорию управления. Общие черты управления, изучаемые кибернетикой, реальны, объективны и потому исключительно важны для процесса принятия решений. Важно и прогрессивно широко использовать математические модели. Но при этом основной и определяющей стороной всего процесса остается социальное содержание управления»¹.

Цель данной брошюры — ознакомить читателей с арсеналом современных методов, способствующих прогрессу организации управления, дать некоторое представление о математических и кибернетических методах, электронных вычислительных машинах, реально использующихся при выработке управленческих решений в настоящее время.

¹ Попов Г. Х. Вступительная статья.— В кн.: Ф. де П. Хапника «Новые идеи в области управления. Руководство для управляющих». М., «Прогресс», 1969, с. 11—12.

Применение математики в экономике: специфика, трудности, перспективы

В последнее время, как известно, больших успехов достигают в тех отраслях знаний, где используются методы различных наук, происходит процесс их «стыкования». «Науки-перекрестки» стали основой новых фундаментальных открытий. Теория относительности, генетика, кибернетика, структурная лингвистика — вот далеко не полный перечень таких наук. И везде как оплодотворяющее начало мы видим математику.

По мнению известного американского ученого Норберта Винера, высшее назначение математики как раз и состоит в том, чтобы находить скрытый порядок в хаосе, который нас окружает. Почему же именно математике отводится такая роль? Что позволяет при использовании математики добиваться колоссальных успехов в исследовании явлений природы и общества? Ведь современная математика часто оперирует такими понятиями, которые, казалось бы, к реальной жизни никакого отношения не имеют.

Чтобы ответить на эти вопросы, необходимо кратко сформулировать принципиальные особенности математики. Первая особенность состоит в строгом, не допускающем никаких отклонений определении правил построения отношений, т. е. правил вывода соответствующих формул; вторая особенность связана с тем, что при выводе соответствующих формул вначале постулируется система аксиом, а затем исходя из них на основе строгих правил строят математические предложения; третья особенность состоит в возможности оперировать теми или иными понятиями, не раскрывая их смысла. Например, в знаменитой работе Гильберта

«Основания геометрии» есть такие предложения: «Пусть имеется три типа объектов: объект первого типа будем называть «точками», второго типа — «прямыми», третьего — «плоскостями». Больше ничего о сущности этих понятий не говорится. Все дальнейшие утверждения, выведены не связаны с характеристикой этих объектов.

Таким образом, нам неважно, например, знать что такое n -мерное пространство, представлять его, искать его аналог. Важно только, какие возможны утверждения по отношению к нему, какие правила можно применять к составляющим его элементам (например, векторам) и к нему самому.

Рассмотрим схему обычного математического рассуждения. Вначале вводится система аксиом. Затем, применив соответствующие строгие логические правила, получают новые предложения, т. е. новые знания об исследуемом явлении или предмете; повторно применяя соответствующие правила, снова получают определенные предложения и т. д. Таким образом, с помощью математических преобразований на основе логических правил можно установить новые, не известные ранее свойства и отношения реальных объектов, которые затем могут найти эмпирическое подтверждение.

Это и делает математику такой могущественной наукой. Как подчеркивал К. Маркс, наука только тогда достигает совершенства, когда ей удается пользоваться математикой.

Математика постоянно расширяет «сферу своего влияния». Если до недавнего прошлого лингвистика, психология, биология, экономика не пользовались математическим аппаратом, то сейчас идет интенсивный процесс формализации этих наук, превращения их в отрасли знаний, оперирующие наряду с качественными, количественными характеристиками и категориями.

Экономико-математические исследования стали развиваться сравнительно недавно. Первая работа, в которой с помощью математических методов исследовались экономические процессы, вышла в 1838 г. — «Математические основы теории богатства» Огюста Курно. Правда, нельзя сказать, что с этого момента эта отрасль науки начала бурно прогрессировать. В то время еще не созрели объективные предпосылки для применения математических методов в экономике. Хозяйство даже развитых

стран было относительно несложным, характеризовалось небольшим количеством связей и простой структурой. Все отношения между отдельными хозяйственными объектами в большинстве случаев можно было увидеть «невооруженным глазом».

К. Маркс один из первых понял значение математики для экономики и практически использовал ее в «Капитале». Законы общественного воспроизводства он облек в строгую математическую форму, что позволило ему наглядно представить сложнейшие зависимости между отдельными элементами производства, потребления и накопления. На основе полученных соотношений К. Маркс определил количественные параметры простого и расширенного воспроизводства.

Схемы воспроизводства К. Маркса дополнил и развили В. И. Ленин. Он с помощью числовых соотношений вскрыл качественно новые стороны процесса развития народного хозяйства.

Математические схемы К. Маркса и В. И. Ленина используются многими учеными и в настоящее время. На основе творческого развития этих моделей получены практические результаты, которые имеют большое значение для познания процессов, происходящих в глубинах экономики¹.

В нашей стране экономико-математические исследования ведутся с самого начала становления Советской власти. СССР является пионером в области использования балансовых схем на народнохозяйственном уровне. Впоследствии на этой базе оформилась целая наука о межотраслевых балансовых моделях. Советский ученый академик Л. В. Канторович заложил основы линейного программирования, его открытия послужили тем фундаментом, на котором выросло здание разветвленного раздела математики — математического программирования. Ряд советских ученых за разработку экономико-математических проблем отмечены Ленинской и Государственной премиями. Их работы пользуются большой популярностью и в других странах.

¹ См., например, Немчинов В. С. Экономико-математические методы и модели. М., Соцэгиз, 1962; Дадаин В. С. Экономические расчеты по модели расширенного воспроизводства. М., «Экономика», 1966.

Одним из первых советских специалистов в области экономико-математических исследований является А. А. Конюс, опубликовавший в 1924 г. по данной теме статью «Проблема истинного индекса стоимости жизни» («Экономический бюллетень конъюнктурного института», 1924, № 11—12). Советская наука прошла с тех пор огромный путь: от разработки методов простейших балансовых расчетов в планировании до теории составления оптимальных планов отраслей и народного хозяйства в целом. У нас в стране и за рубежом широко известны имена экономистов-математиков: Л. В. Канторовича, В. С. Немчинова, В. В. Новожилова, Н. П. Федоренко и ряда других.

Особенно бурный подъем этой науки наблюдается в настоящий период. Число научных исследований по экономико-математическим дисциплинам растет увеличивающимися темпами. Созданы десятки научно-исследовательских институтов, кафедр и факультетов в учебных институтах и университетах. Из маленькой лаборатории, руководимой академиком В. С. Немчиновым, вырос Центральный экономико-математический институт Академии наук СССР, насчитывающий сотни специалистов.

Количество специалистов в области применения математики в экономике увеличивается с каждым годом. Возникают все новые направления исследований.

Чем вызван такой математический «взрыв»? Почему именно в экономике такими быстрыми темпами идет процесс математизации?

Кратко на эти вопросы можно ответить так. Экономические системы — одни из самых сложных систем. Их анализ невозможен без точных методов. Кроме того, в экономике имеют дело в основном с количественными параметрами, а это благодатная почва для использования математических методов.

Отдельное предприятие представляет собой сложную динамическую систему с многообразными и подвижными связями между разными подразделениями внутри него. Уже на этом уровне без применения точных методов невозможно установить эффективные, оптимальные режимы функционирования системы. Существенно возрастает сложность объектов, если мы рассмотрим производственные объединения, отрасли и народное хозяйство в целом. Отдельные подсистемы и элементы такой систе-

мы взаимодействуют между собой, изменения в одной из них ведут к изменениям в других.

Аппаратом, позволяющим исследовать, анализировать сложные экономические системы, является математика. Существуют математические методы (подробнее о них мы скажем ниже), которые позволяют находить оптимальные и близкие к ним траектории поведения таких систем. С помощью этих методов можно решать сейчас множество самых разнообразных задач: от задач выбора наилучших способов перевозок грузов, наиболее рациональных путей производства продукции, пунктов строительства новых предприятий до задач составления оптимальных планов развития целых отраслей.

Появление электронных вычислительных машин (ЭВМ) послужило толчком к расширению экономико-математических исследований. ЭВМ позволили резко сократить время решения сверхбольших задач, что стимулировало увеличение объема экономико-математических изысканий.

Сейчас с помощью математики уже решено множество практических экономических задач. Эффект исчисляется десятками миллионов рублей. Например, ученые Института кибернетики Академии наук УССР составили план работы автомобильного транспорта в городах Украины. Это позволило сэкономить свыше 1 млн. руб. Подсчитано, что если бы математические методы и ЭВМ были бы в настоящее время внедрены везде, то наша экономика развивалась бы в два раза быстрее.

Развитие экономики и появление новых отраслей математических знаний

Специфичность такого объекта исследований, как экономика, заставила искать новые методы решения, которые не были еще разработаны в математике. Здесь налицо своеобразная «обратная связь» — не только математика служит развитию экономики, но и сама экономика способствует развитию математики. Забегая вперед, скажем, что в настоящее время существует определенный разрыв в этой области: потребности экономики опережают пока возможности математики. По сути дела, наибольшее применение находят сейчас линейные модели, предназначенные для решения экономических задач, в то

время как почти все зависимости в экономике нелинейны. В этом случае исследователям приходится идти на разные компромиссы, которые дают возможность приблизить математическую модель к реальности.

Экономическая практика вызвала появление целого ряда математических дисциплин: математическое программирование, теория игр, теория массового обслуживания, теория расписаний и т. д. На базе математики развились такие специальные методы исследования экономических процессов, как балансовые, сетевые и др. Причем история всех этих методов не насчитывает и пяти — десяти лет. Некоторые из них оформились и получили права гражданства только после второй мировой войны, в конце сороковых годов.

Математическое программирование. История этой науки связана с именем советского математика, ныне академика Л. В. Канторовича. В 30-х годах Л. В. Канторович заинтересовался проблемами решения задач планирования производства. Ему удалось разработать методы оптимизации планов предприятий на основе более рационального распределения ограниченных ресурсов, которые впоследствии выросли в науку — «математическое программирование».

Сейчас эта дисциплина объединяет линейное, нелинейное, динамическое, стохастическое, целочисленное программирование. Наиболее разработанной и распространенной ветвью является линейное программирование. Приведем самый простой пример.

Пусть на заводе выпускаются два вида продукции A и B . При этом используются два вида станков M и N . На производство единицы продукции A на станке M затрачивается 2 часа, а на станке N — 1 час; на производство единицы продукции B затрачивается соответственно — 1 час и 2 часа. Предприятие может использовать станок M в течение 10 часов, а станок N — в течение 8 часов. Прибыль от реализации единицы продукции A составляет 5 руб., от B — 4 руб.

Нам необходимо выпустить такое количество продукции A (x_A — неизвестная переменная величина) и B (x_B), чтобы, во-первых, был полностью использован весь фонд времени двух станков и, во-вторых, завод получил максимальную прибыль от реализации своей продукции.

Формально эту задачу можно записать так:

$$1) 5x_A + 4x_B \rightarrow \max;$$

$$2) 2x_A + x_B = 10;$$

$$3) x_A + 2x_B = 8.$$

Здесь выражение 1) — целевая функция; 2) — ограничение на использование фонда времени станка M ; 3) — ограничение на использование фонда времени станка N . Для наглядности решим задачу геометрически. Отложим

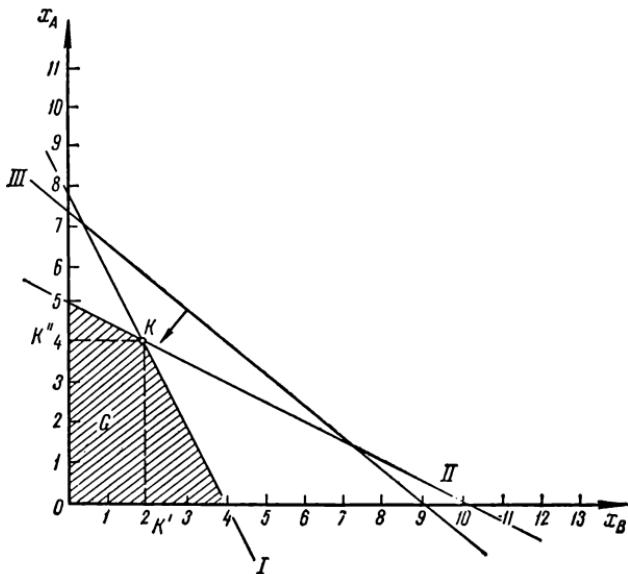


Рис. 1

на осях координат объемы продукции A и B (рис. 1). Тогда прямая I — линия производственных возможностей станка N ; II — линия производственных возможностей станка M . Заштрихованная область G представляет множество допустимых планов нашей задачи, т. е. это множество тех значений x_A и x_B , которые удовлетворяют уравнениям 2) и 3). Целевая функция — прямая III. Она передвигается параллельно самой себе (направление передвижения указано стрелкой). Первая точка области G , которой она коснется при таком передвижении, будет решением нашей

задачи. Координаты решения — $K' K''$. Следует отметить, что одно из условий любой задачи подобного типа — нестрицательность переменных, т. е. для нашего случая должно выполняться: $x_A \geq 0, x_B \geq 0$.

Приведенный рисунок позволяет получить представление о существе задачи линейного программирования: оптимальное решение всегда находится в точке пересечения граней (или, если целевая функция параллельна одной из граней, на всей грани получаем соответствующее множество решений) многогранника условий типа 2), 3). Если мы имеем большее количество таких ограничений, например большее количество станков, то соответственно увеличивается количество граней.

Для случая трех видов продукции (трехмерное пространство) геометрическая интерпретация задачи затруднена. И вообще невозможно решить таким способом задачу для n -мерного случая (например, четыре или более продуктов). В этой ситуации пользуются специальным методом, называемым *симплексным*. Проиллюстрируем применение этого метода для случая трех уравнений и трех неизвестных.

Пусть

$$2x_1 + 3x_2 \leq 8;$$

$$2x_2 + 5x_3 \leq 10;$$

$$3x_1 + 2x_2 + 4x_3 \leq 15;$$

$$x_1 \geq 0, \quad x_2 \geq 0, \quad x_3 \geq 0;$$

$$3x_1 + 5x_2 + 4x_3 \rightarrow \text{max.}$$

Новое в этой задаче по сравнению с вышеприведенной — неравенства вместо равенств. Для того чтобы привести их к обычному виду (уравнениям), введем так называемые свободные переменные x_4, x_5, x_6 , сохраняя целевую функцию прежней (или, говоря точнее, вводя в нее эти переменные с нулевыми коэффициентами — $3x_1 + 5x_2 + 4x_3 + 0x_4 + 0x_5 + 0x_6$).

Векторы x_4, x_5, x_6 имеют соответственно следующие координаты: (100), (010), (001). Они называются единичными или базисными. Любой вектор пространства такого же порядка может быть выражен через базисные векторы. Теперь запишем первую симплексную таблицу (табл. 1).

Таблица 1

c_i	P_i	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_0
0	P_4							8
0	P_5	0	2	5	0	1	0	10
0	P_6	3	2	4	0	0	1	15
		c_j	3	5	4	0	0	

Столбец P_i здесь — базисный; он состоит из векторов P_4 , P_5 , P_6 . Основная часть таблицы выделена двойной чертой — это матрица коэффициентов при всех переменных, не включенных в базис. Справа от этой матрицы расположена матрица коэффициентов базисных векторов (единичная матрица). Цифры под P_0 — ограничения нашей задачи. Стока c_j состоит из коэффициентов целевой функции.

Теперь, представив так исходную информацию, приступаем к решению задачи. Симплекс-метод называют еще методом последовательного улучшения плана. Его особенность состоит в том, что задача решается за несколько итераций (последовательных шагов). На каждой итерации получают лучший с точки зрения данного критерия план по сравнению с планом, полученным на предыдущей итерации (т. е. в нашем случае мы получаем на каждой последующей итерации большее значение целевой функции). Каждая новая итерация начинается с записи полученных данных в новую симплексную таблицу.

Итак, вначале на каждой итерации вычисляется величина

$$\Delta_j = c_j - \sum_i x_{ij} c_i$$

(x_{ij} — элементы основной таблицы).

Например,

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= 3 - \sum_4^6 x_{i1} c_i = 3 - x_{41} c_4 - x_{51} c_5 - x_{61} c_6 = \\ &= 3 - (2 \cdot 0) - (0 \cdot 0) - (3 \cdot 0) = 3. \end{aligned}$$

Так рассчитаем все элементы Δ_j : $\Delta_2 = 5$, $\Delta_3 = 4$.

Затем выбираем $\max \Delta_j$ (положительное). Столбец с индексом $\max \Delta_j$ подлежит вводу в базис. Он называется ключевым столбцом (выделен в табл. 1). Ясно, что если все $\Delta_j < 0$, то мы имеем оптимальное решение.

Элементы вектора P_0 обозначим через P_{0i} . Находим частное P_{0i}/x_{ie} , где x_{ie} — элементы ключевого столбца. Наименьшее положительное частное в таком случае указывает на индекс столбца, выводимого из базиса. Для нашего случая это четвертый столбец (P_4), так, как

$$\min \left\{ \frac{P_{04}}{x_{42}} = \frac{8}{3}; \quad \frac{P_{05}}{x_{52}} = \frac{10}{2}; \quad \frac{P_{06}}{x_{62}} = \frac{15}{2} \right\} = \frac{P_{04}}{x_{42}}.$$

Строка, которая содержит такое наименьшее частное, называется ключевой (выделена в табл. 1). На пересечении ключевой строки и столбца находится ключевое число.

Теперь делим все числа ключевой строки на ключевой элемент. Получим главную строку (выделена в табл. 2).

Таблица 2

c_i	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_0
5	P_2	$\boxed{\frac{2}{3} \quad 1 \quad 0 \quad \frac{1}{3} \quad 0 \quad 0}$					$\frac{8}{3}$
0	P_5	$-\frac{4}{3}$	0	$-\frac{2}{3}$	1	0	$\frac{14}{3}$
0	P_6	$\frac{5}{3}$	0	$-\frac{2}{3}$	0	1	$\frac{29}{3}$
c_j		3	5	4	0	0	
Δ_j		$-1/3$		4	$-5/3$		

Числа, не входящие в главную строку, называются производными. Их получают по следующему правилу:

Производное число = Выбранное число —

$$\frac{\text{Соответствующее число в ключевой строке} \times \text{Соответствующее число в ключевом столбце}}{\text{Ключевое число}}.$$

Так вычисляют все остальные элементы табл. 2. Изменяя затем c_i, P_i с учетом ввода нового базисного вектора P_2 .

Так как оптимальное решение еще не получено (имеется положительное Δ_j), выполняем следующие итерации (повторяем все наши предыдущие шаги). Сделав еще две итерации, получим окончательную таблицу (табл. 3).

Таблица 3

c_i	P_i	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_0
5	P_2	0	1	0	15/41	8/41	-10/41	50/41
4	P_3	0	0	1	-6/41	5/41	4/41	62/41
3	P_1	1	0	0	-2/41	-12/41	15/41	89/41
	c_j	3	5	4	0	0	0	
	Δ_j				-45/41	-24/41	-11/41	

Все $\Delta_j < 0$, значит мы получили оптимальное решение: $3 \times 89/41 + 4 \times 62/41 + 5 \times 50/41 = 765/41$, т. е. при данных ограничениях эта величина целевой функции — наибольшая.

Решение задач линейного программирования для нахождения оптимальных вариантов планов функционирования различных хозяйственных объектов дает возможность выявить значительные дополнительные ресурсы производства той или иной продукции. Например, с помощью решения таких задач для завода «Сибэлектротяжмаш» удалось отыскать способы производства, которые позволяют увеличить выпуск товарной продукции на 65%, снизить себестоимость ее производства на 15%, увеличить прибыль на 167%¹.

С задачей линейного программирования связана всегда другая задача, которая называется *двойственной* первой.

Рассмотрим следующую задачу:

$$\begin{aligned}
 & c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_n \rightarrow \max; \\
 & a_{11} x_1 + a_{12} x_2 + \dots + a_{1n} x_n \leq b_1; \\
 & a_{21} x_1 + a_{22} x_2 + \dots + a_{2n} x_n \leq b_2; \\
 & \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\
 & a_{m1} x_1 + a_{m2} x_2 + \dots + a_{mn} x_n \leq b_m; \\
 & x_j \geq 0.
 \end{aligned}$$

Двойственной к данной будет следующая задача:

$$\begin{aligned}
 & b_1 y_1 + b_2 y_2 + \dots + b_m y_m \rightarrow \min; \\
 & a_{11} y_1 + a_{21} y_2 + \dots + a_{m1} y_m \geq c_i;
 \end{aligned}$$

¹ См. Герасимов Н. И. Планирование производственной программы машиностроительного предприятия. М., «Экономика», 1972, с. 116.

$$a_{12}y_1 + a_{22}y_2 + \dots + a_{m2}y_m \geq c_2;$$

$$a_{1n} y_1 + a_{2n} y_2 + \dots + a_{mn} y_m \geq c_n;$$

$$y_i \geq 0.$$

Эти задачи имеют общие члены, но они выполняют разные функции: ограничения первой (b_i) служат коэффициентами целевой функции второй, а коэффициенты целевой функции первой встали на место ограничений второй задачи; у них также одинаковые коэффициенты a_{ij} , только во втором случае мы имеем транспонированную матрицу этих коэффициентов (т. е. здесь строки первой матрицы стали столбцами).

С этими задачами связана следующая очень важная теорема: при наличии оптимального решения одной из задач вторая тоже имеет решение, и максимум целевой функции одной равен минимуму второй.

Что же представляют собой с экономической точки зрения переменные величины y_i , которые являются ис-
комыми для нашей второй задачи? Их расшифровка в
каждом конкретном случае дело довольно трудное, и не
всегда экономический смысл этих величин ясен. Вообще
при использовании математических методов в экономике
часто за ясностью чисто математических выкладок и
математической интерпретации соответствующих па-
раметров скрывается их довольно трудно уловимый эконо-
мический смысл. Если мы внимательно проанализируем
вторую задачу, то увидим, что y_i — это некоторые оцен-
ки правых частей ограничений первой задачи, т. е. это
оценки ресурсов (при этом имеется в виду, что в первой
задаче мы максимизируем стоимость выпускаемой про-
дукции, варьируя величинами выпуска продукции при
соблюдении ограничений на соответствующие виды ре-
сурсов). Они показывают, как изменится целевая функ-
ция, если объем соответствующего ресурса увеличится
(уменьшится) на единицу. Если мы изменим полученный
после решения задачи оптимальный план, то эти числа
нам подскажут, на какую величину увеличится (умень-
шится) целевая функция. Очень важно, что об этом мы
узнаем, не решая задачу вновь. Эти оценки выполняют
такую роль только при малых изменениях величины ре-
сурсов, при больших — оценки сами меняются.

Переменные второй задачи имеют много названий (теневые цены, предельные оценки и т. д.), у нас наиболее распространен термин «*объективно обусловленные оценки*» (о. о. оценки). Необходимо отметить, что для получения о. о. оценок не обязательно решать двойственную задачу, они получаются уже в процессе решения прямой задачи симплекс-методом. Таким образом, при решении соответствующей задачи линейного программирования получают не только оптимальный план выпуска продукции, но и оптимальные оценки ограниченных ресурсов. Уместно будет отметить следующую закономерность: ресурсы, полностью используемые в оптимальном плане, имеют положительную о. о. оценку, а оценка ресурса, часть которого не используется (т. е. соответствующее ограничение выполняется для оптимального плана как чистое неравенство), равна нулю.

О. о. оценки представляют собой один из точнейших и важнейших инструментов анализа оптимальных планов. В настоящее время они находят все большее применение в теории и практике народнохозяйственного планирования.

В линейном программировании особо выделяются *транспортные* задачи, в связи с тем что они отличаются особыми методами решения, имеют специфическую математическую форму и четко определенный адрес использования, на что указывает их название.

В простейшем случае эти задачи формулируются так. Из определенных пунктов должен быть перевезен груз соответствующим получателям. Известно, сколько груза находится у отправителей и сколько требуется перевезти. Применяя один из методов решения такой задачи (например, распределительный метод), устанавливают такие объемы перевозок между пунктами, при которых минимизируются расходы на транспортировку.

В настоящее время транспортные задачи находят широкое применение. Например, на базе их решения были составлены народнохозяйственные планы развития цементной промышленности на 1966—1970 и 1971—1975 гг. Это позволило получить значительный экономический эффект¹.

¹ Оптимальный план отрасли. М., «Экономика», 1970, с. 327.

С помощью задач линейного программирования сейчас решается множество проблем: от выбора оптимального рациона питания, оптимальной диеты, выбора наилучших способов перевозки грузов, наиболее рациональных путей производства продукции, выбора наилучших пунктов строительства новых предприятий до составления оптимальных планов развития целых отраслей. Таким образом, область использования таких линейных

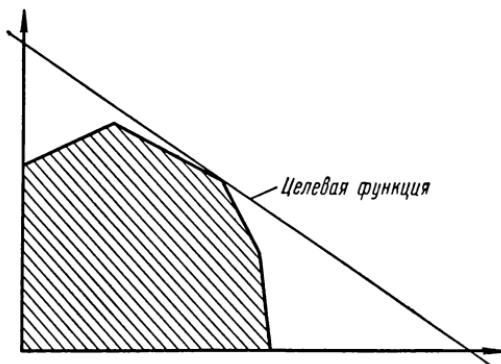


Рис. 2.

моделей очень широка. Не следует, однако, забывать, что линейные модели не вполне адекватно отображают действительность. В задачах линейного программирования имеется существенная особенность: предполагается, что все представленные зависимости имеют линейный вид (и ограничения, и целевая функция). Как мы уже отмечали, это значительно обедняет действительность, искажает ее. Встал вопрос о методах решения таких задач, в которых учитывались бы нелинейные зависимости. Такие методы разрабатываются в *нелинейном программировании*. Этот раздел математического программирования разработан значительно хуже, чем рассмотренный выше. Это вызвано не столько молодостью данной математической дисциплины, сколько ее сложностью. Если в двумерном случае область возможных решений для линейной задачи можно представить так, как это сделано на рис. 2, то значительно сложнее обстоит дело с нелинейными задачами. Здесь, во-первых, области решений могут иметь самую разнообразную конфи-

гурацию, во-вторых, целевые функции также различаются (рис. 3, 4).

Довольно хорошо разработаны методы решения задач с выпуклой областью решений и с вогнутой (для задач на максимум) или выпуклой (для задач на минимум) целевой функцией. В остальных случаях чаще

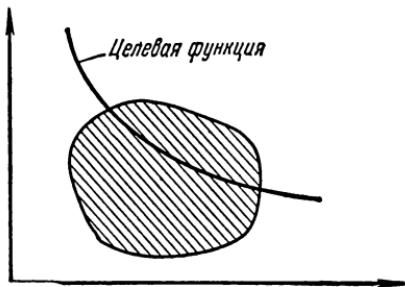


Рис. 3.

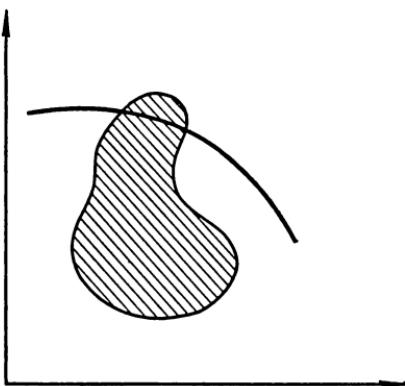


Рис. 4.

всего нелинейные зависимости аппроксимируют линейными и решают задачи способами линейного программирования.

Очень большой класс экономических задач должен решаться методами *целочисленного программирования*. Очень часто в обычных линейных моделях ставится условие, чтобы переменные величины выражались

лишь целыми числами, в противном случае модель не имеет смысла (например, если в линейной задаче отыскивается план выпуска неделимых единиц продукции, или требуется оптимальным образом раскроить лист материала на заготовки определенных деталей, или решается задача оптимизации загрузки оборудования и т. д.).

Для решения таких задач используется несколько специальных методов (например, метод Гомори, основанный на идеях симплекс-метода). Однако нередко в таких случаях поступают проще: решают линейную задачу обычными методами, а затем округляют полученные величины до целых. Конечно, такие приемы неэффективны и часто искажают истинные результаты.

В отдельную дисциплину математики выделилось *динамическое программирование*. Процесс оптимизации при решении задач методами динамического программирования состоит из нескольких последовательных шагов. Причем выбор вариантов решения на отдельных стадиях основывается на общем принципе оптимальности: если некоторая последовательность решений оптимальна, то отдельные последующие решения внутри нее оптимальны по отношению к предыдущим решениям. В соответствии с этим принципом задача решается с последнего этапа. Затем переходят к решению задачи следующего этапа, при этом, естественно, отбрасываются те возможные альтернативы, которые противоречат решению предыдущего этапа. Коротко суть такого способа решения можно выразить так: если имеются два пути достижения одного и того же результата, то более длинный путь отбрасывается.

Типичными задачами динамического программирования являются задачи распределения капиталовложений между n объектами, задачи календарного планирования, например, отыскания оптимальной последовательности обработки n изделий на m станках, задачи выбора оптимального режима замены изношенного оборудования и т. д.

Существует несколько разделов математического программирования, разработка которых находится в начальной стадии. Сюда следует отнести *стохастическое программирование* (попытка в задачах линейного программирования отразить риск и неопределенность при

планировании), *блочное программирование* (разбиение большой линейной модели со сложной структурой на блоки, а затем решение этих уже более простых задач), *параметрическое программирование* (методы решения задач, у которых коэффициенты целевой функции или ограничения зависят от одного или нескольких параметров), *кусочно-линейное программирование* (методы решения нелинейных задач с помощью аппроксимации соответствующих функций кусочно-линейными зависимостями).

Теория игр, пожалуй, одна из самых молодых и перспективных отраслей науки, появление которой вызвано в основном потребностями решения военных и экономических задач. В 1944 г. вышла книга известных ученых Неймана и Моргенштерна «Теория игр и экономическое поведение», где были изложены основы этой науки.

Теория игр представляет собой пример того, как можно «математизировать» задачи, которые обычно решались чисто эмпирическим путем, без использования каких-либо количественных измерителей.

Специфика этой науки состоит в том, что она исследует конфликтные ситуации, возникающие при столкновении двух или более «враждующих» сторон, в результате которых кто-то должен выиграть, а кто-то проиграть. Причем это «сражение» происходит в условиях неопределенности информации о действиях участников.

Теория игр имеет очень широкую область применения: от исследования закономерностей карточных и других азартных игр до анализа экономических, военных, политических ситуаций.

В основной теореме теории игр утверждается: если играют два игрока *A* и *B*, то существует такое число *k* (называемое ценой игры), при котором *B* может выиграть в среднем сумму, равную *k* за одну игру, а *A* может помешать ему выиграть большую сумму. Утверждается также, что для игрока *B* существует оптимальная стратегия, обеспечивающая выигрыш суммы, равной *k* за одну игру, а при применении оптимальной стратегии игроком *A* в этом случае он может проиграть не более чем *k*. Это так называемый «принцип минимакса», который формально можно записать следующим образом:

$$\max_a [\min_b V(a, b)] = \min_b [\max_a V(a, b)].$$

Здесь a — характеристика действий игрока A ; b — характеристика действий игрока B ; $V(a, b)$ — функция потерь.

Вообще точка пересечения оптимальных стратегий участников называется седловой точкой игры: минимум максимума потерь одного участника совпадает с максимумом минимума выигрыша другого.

На рис. 5 в трехмерном пространстве представлена поверхность $C(A, B)$. Она имеет седловидную форму, точка k — седловая точка игры.

Дж. фон Нейман показал, что большой класс ситуаций, возникающих в действительности, можно описать матрицей платежа, имеющей следующий вид:

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix}.$$

Элемент этой матрицы показывает сумму выигрыша игрока A (если это элемент положительный, в противном случае — сумму проигрыша) при условии, что тот изберет строку i (стратегию i), а его противник B изберет строку j . Причем игрок A не знает, какую стратегию предпочтет его противник. В соответствии с принципом минимакса на основе такой матрицы платежа можно определить оптимальную стратегию для обоих участников. Она будет соответствовать элементу, находящемуся на пересечении строки с наибольшим минимальным элементом со столбцом с наименьшим максимальным элементом. Любому из игроков нет смысла избирать другую стратегию, так как в этом случае он может потерять больше, чем при оптимальном поведении.

В теории игр изучают и более сложные ситуации, чем те, которые нами рассмотрены в качестве примера. Здесь анализируются случаи столкновения интересов многих участников (более двух), групп участников, рассматриваются различные случаи кооперации игроков и т. д. Конечно, при этом строятся предельно упрощенные модели, не учитывающие многих факторов реальной действительности. Однако теория игр тем ценна, что она позволяет выработать подходы к изучению чрезвычайно сложных проблем, которые не поддаются анализу другими способами.

Интересно заметить, что любая модель теории игр может быть записана в виде задачи линейного программирования и решена соответствующими методами.

Любой из нас представляет, что такая очередь — будь то очередь за билетами в кино или очередь на автобус в «часы пик». В настоящее время бурно развивается наука, которая изучает такие и подобные ситуации — это теория

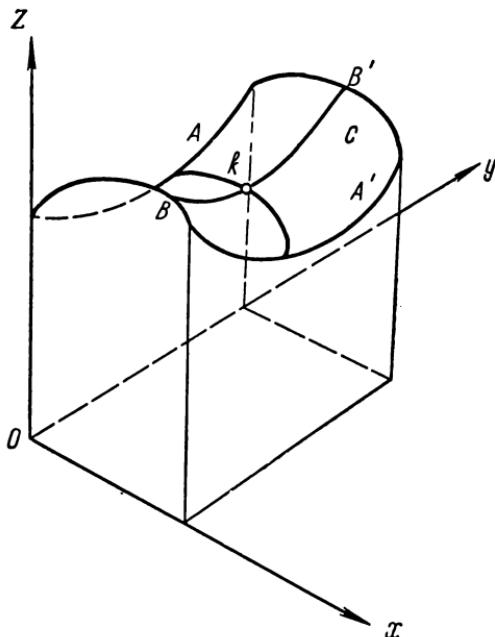


Рис. 5.

массового обслуживания или, как иногда ее называют, **теория очередей**.

Толчком к возникновению и развитию этой отрасли знаний послужили потребности решения некоторых проблем обслуживания абонентов телефонных станций. Известно, что вызовы на телефонную станцию поступают в случайному порядке. Если есть свободная линия, то абонент тут же обслуживается, если же нет такой линии, то он либо ждет, когда освободится одна из линий (становится в очередь), либо совсем отказывается от заказа.

Это две наиболее распространенные и изученные ситуации, первая называется системой с ожиданиями, вторая — с потерями. В первом случае абонента интересует среднее время ожидания начала обслуживания и средняя длина очереди, во втором — вероятность получения отказа. На основе этих величин можно рассчитать рациональные параметры телефонного узла (например, рациональное количество линий обслуживания) так, чтобы и время начала обслуживания было невелико, и линии не простаивали долго незагруженными. В обоих случаях можно получить только вероятностный ответ, т. е. теория массового обслуживания изучает вероятностные модели поведения соответствующих систем: момент поступления заявки или время обслуживания заявки — случайные величины. Отсюда и другие параметры, полученные после решения задачи, носят вероятностный характер.

Базой теории массового обслуживания служит теория вероятностей. Сама теория массового обслуживания — сугубо прикладная наука. Перечислим некоторые наиболее типичные случаи, когда возможно ее использование.

С помощью теории массового обслуживания можно определить рациональное количество продавцов и кассиров в магазине. Содержание дополнительного количества продавцов и кассиров ведет к увеличению затрат. Но если покупатель ушел из магазина из-за большой очереди, то это тоже наносит ущерб торговому предприятию. В этом случае необходимо установить некоторый оптимум.

Часто квалифицированные рабочие теряют время в очередях за инструментом, в связи с тем что количество пунктов их выдачи недостаточно, а иногда такие пункты работают с неполной загрузкой, из-за того что их слишком много.

Теория массового обслуживания может помочь при расчете пропускной способности морских причалов, аэропортов, больниц и т. д. С ее помощью можно определить оптимальный состав бригады сталеваров, ремонтной бригады, рациональное количество станков, обслуживаемых одним рабочим, и т. д.

В теории массового обслуживания рассматриваются и более сложные случаи, например, учитывается вероятность порчи обслуживающих приборов или вводятся приоритеты на обслуживание (важные заказы, например, поступают в систему вне очереди).

Приведем пример¹. Имеется предприятие, выпускающее шесть типов приборов. Над их изготовлением трудится 1000 человек. Инструменты для выполнения работы берут на складе. Перед дверьми склада часто образуются очереди. В этом случае можно увеличить количество кладовщиков. Тогда рассосется очередь, но зато увеличатся затраты на заработную плату кладовщикам, и, кроме того, они будут простаивать. Уменьшение числа кладовщиков приведет к увеличению очереди и к потерям рабочего времени.

Требуется определить, сколько должно быть кладовщиков, чтобы минимизировать совместные потери от простаивания рабочих и служащих?

Для решения нашей задачи вначале установим закон прибытия рабочих на склад: сто раз подряд подсчитаем количество рабочих, приходящих в течение **каждых 10 мин** за инструментом. Вычислим частоты прибытий рабочих (табл. 4) и найдем среднюю из числа прибытий за **каждые 10 мин**:

$$Z = 5 \cdot 0,01 + 6 \cdot 0 + 7 \cdot 0,01 + \dots + 14 \cdot 0,10 + \\ + 25 \cdot 0,01 = 15,61 \approx 16.$$

Значит в среднем за **10 мин** за инструментом приходят 16 рабочих, или имеется 1,6 прибытие в минуту.

Введем следующие предположения.

1. Прибытие одного рабочего не зависит от прибытия другого.

2. К дверям склада никогда не приходят сразу два и более рабочих.

3. Среднее число прибытий постоянно во времени.

В теории массового обслуживания доказывается, что при этих предположениях вероятности прибытий подчиняются закону Пуассона:

$$p_n(t) = \frac{e^{-\lambda t} (\lambda t)^n}{n!}.$$

Здесь λ — среднее количество прибытий за единицу времени (в нашем примере $\lambda = 1,6$).

На основе этой формулы устанавливается, что за вре-

¹ Кофман, Фор. Займемся исследованием операций. Пер. с англ. М., «Мир», 1969. с. 62.

мя t произойдет n прибытий. Теоретические значения вероятностей прибытий приведены в третьей строке табл. 5.

Нам нужно теперь проверить, что эмпирические данные достаточно близки к теоретическим. Для этого вычисляют относительные квадратичные уклонения эмпирических частот от теоретических, и их складывают:

$$X^2 = \frac{(1-0,1)^2}{0,1} + \frac{(0-0,2)^2}{0,2} + \dots + \frac{(1-1,4)^2}{1,4} + \frac{(1-0,9)^2}{0,9} = 12.$$

Сверяя с вычисленными ранее значениями X^2 (имеются специальные таблицы), оцениваем случай, когда не следует отвергать гипотезу о достаточной близости теоретического и эмпирического законов. Находим, что эта гипотеза может быть принята с вероятностью, равной 0,88, т. е. мы убеждаемся, что действительно прибытия подчиняются закону Пуассона и для нашего случая $\lambda=1,6$.

Теперь проанализируем показатели времени обслуживания. Примем, что продолжительность обслуживания случайна, и вероятности обслуживания рабочего тем или иным кладовщиком равны.

Зарегистрируем время обслуживания для 1000 случаев. Вычислим соответствующие частоты (табл. 5). Устанавливаем, что средняя продолжительность обслуживания составляет 1,1 мин. В третьей строке табл. 5 приведены теоретические значения искомых величин, соответствующие экспоненциальному закону:

$$P_r \{ \tau \geq \theta \} = 1000 e^{-\mu \tau}$$

(вероятность того, что интервал τ больше или равен данному значению θ). Здесь μ — уровень обслуживания, т. е. среднее число обслуживаний за единицу времени. В нашем случае $\mu=1/1,1 \approx 0,9$. Проверяем соответствие эмпирического закона теоретическому с помощью критерия X^2 . Устанавливаем, что гипотеза не отвергается, т. е. экспериментальный закон достаточно хорошо описывается теоретическим.

Интенсивность деятельности кладовщиков можно представить так:

$$\psi = \frac{\lambda}{\mu S} = \frac{1,6}{0,9 S} = \frac{1,77}{S},$$

где S — количество кладовщиков.

Таблица 4

Число прибытий рабочих за 10 мин.,	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Наблюдаемая частота, %	1	0	1	2	1	3	5	6	9	10	11	12	8	9	7	5	4	3	1	1	1
Теоретическая частота (закон Пуассона)	0,1	0,2	0,6	1,2	2,1	3,4	4,9	6,6	8,1	9,3	9,9	9,3	8,3	6,9	5,5	4,2	3,1	2,1	1,4	0,9	

Таблица 5

Интервалы времени (с)	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240	255	270	285	300
Наблюдаемая на- копленная часто- та, %	1000	813	652	512	408	330	261	210	163	125	95	79	62	51	44	35	26	21	17	13	10
Теоретическая ча- стота (экспонен- циальный закон)	1000	798	637	508	406	324	259	207	165	131	105	84	67	53	42	34	27	21	17	14	11

Используя формулу Эрланга, вычислим вероятность того, что время ожидания равно 0 (p_0). Для этого воспользуемся специальными таблицами. Определим и среднее время ожидания в очереди по формуле:

$$\bar{t}_f = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{S^2 \psi^S}{S! (1 - \psi)} p_0.$$

Итак, получаем:

$$S = 2; \quad \psi = 0,88; \quad \mu \bar{t}_f = 3,6, \quad \text{значит,} \quad \bar{t}_f = \frac{3,6}{0,9} = 4;$$

$$S = 3; \quad \psi = 0,59; \quad \mu \bar{t}_f = 0,28, \quad \text{значит,} \quad \bar{t}_f = \frac{0,28}{0,9} = 0,3;$$

$$S = 4; \quad \psi = 0,44; \quad \mu \bar{t}_f = 0,054, \quad \text{значит,} \quad \bar{t}_f = \frac{0,054}{0,9} = 0,06.$$

В течение одного восьмичасового рабочего дня на склад придут 768 рабочих ($1,6 \cdot 60 \cdot 8$).

Общее ежедневное время обслуживания составляет 14,21 часа $\left(\frac{768}{0,9}\right)$.

Следовательно, ежедневная продолжительность простоя обслуживающей системы составит:

$$\text{для } S = 2 : 2 \times 8 = 14,21 = 1,79 \text{ час;}$$

$$\text{для } S = 3 : 3 \times 8 = 14,21 = 9,79 \text{ час;}$$

$$\text{для } S = 4 : 4 \times 8 = 14,21 = 17,79 \text{ час.}$$

Время, потерянное рабочими в очереди:

$$S = 2 : 768 \times 4 = 51,2 \text{ час;}$$

$$S = 3 : 768 \times 0,31 = 3,96 \text{ час;}$$

$$S = 4 : 768 \times 0,06 = 0,76 \text{ час.}$$

Если рабочий за один час изготавливает продукции на 3 руб., а часовая заработка кладовщика составляет 1,5 руб., то можно определить общие потери тех и других в рублях:

$$S = 2 : 1,79 \times 1,5 + 51,2 \times 3 = 156,285 \text{ руб;}.$$

$$S = 3 : 9,79 \times 1,5 + 3,96 \times 3 = 26,565 \text{ руб};$$

$$S = 4 : 17,79 \times 1,5 + 0,76 \times 3 = 28,965 \text{ руб}.$$

Итак, мы ответили на вопрос, заданный ранее. Для того чтобы минимизировать потери от простоя рабочих и служащих, обслуживающая система должна состоять из трех кладовщиков.

Сейчас трудно назвать область, где нельзя было бы использовать с той или иной модификацией методы теории массового обслуживания. Вообще надо отметить, что в настоящее время стохастические модели и методы изучения тех или иных процессов чрезвычайно распространены и пользуются все возрастающей популярностью. Это связано с тем, что они более приближены к реальной жизни, в большей степени отражают реальные процессы.

В детерминированных моделях все рассматриваемые параметры имеют установленные значения или указываются пределы их изменений, т. е. они определяются точно. Все зависимости здесь жестко зафиксированы. Причем в таких моделях круг факторов, учитываемых при их разработке, всегда ограничен. Разрабатывая такие модели, ученый часто сталкивается с проблемой выбора: или рассматривать большое количество параметров, и тогда модель будет очень сложной, часто не поддающейся не только расчету, но и простому анализу; или значительно упростить модель, введя в нее небольшое число параметров, но зато теперь она не будет адекватно отражать действительность.

В стохастических моделях исходят из вероятностной трактовки анализируемых явлений и их параметров. Каждой входящей в модель величине приписывается не одно какое-либо число или пределы ее измерения, а указывается только вероятностный закон распределения ее значений, а также характеристики такого распределения (математическое ожидание, дисперсия и т. д.). Решение такого рода задачи представляет собой вероятностные характеристики, т. е. указывается, например, что искомая величина x при данных условиях будет иметь значение y с вероятностью P . Здесь уже учитываются и неопределенность информации, и ее неполнота, и различные искажающие влияния и т. д. Так находит разрешение проблема учета ограниченными средствами всего многообразия реальной действительности.

Несмотря на то что теория вероятностей имеет дело со случайными величинами, это точная математическая дисциплина, имеющая довольно сильно разработанный математический аппарат и инструментарий.

Одной из наиболее развитых прикладных наук, целиком базирующейся на теории вероятностей, является **математическая статистика**. Здесь исследуются методы обработки и анализа статистических данных. Эти методы позволяют получить знания о закономерностях развития тех или иных явлений без исследования всего их круга, т. е. на базе ограниченного объема информации (ограниченного выборочного числа наблюдений данных явлений). Таким образом, математическая статистика позволяет высказать суждение о полной совокупности данных явлений без анализа их всех. Например, сделав определенным образом выборку (способы такой выборки изучаются математической статистикой) работников промышленного предприятия и проанализировав их заработную плату, можно распространить закономерности ее распределения среди этих работников на всю совокупность работников соответствующих промышленных предприятий.

При использовании методов математической статистики исходят из того, что изучаемое явление имеет случайный, вероятностный характер и подчинено соответствующим статистическим законам.

Особое положение среди методов и моделей, основанных на теории вероятностей, занимает **метод статистических испытаний**, или метод Монте-Карло. С его помощью можно имитировать поведение любой сложной системы. Причем этот метод позволяет при моделировании учитывать нелинейность зависимостей между параметрами, их случайный характер, динамику исследуемых явлений. Для реализации этого метода в качестве датчика случайных чисел обычно используется ЭВМ. Здесь важно, чтобы ряд получаемых таким способом случайных чисел не подчинялся каким-либо закономерностям, т. е. чтобы выдаваемые ЭВМ числа носили чисто случайный характер и их появление нельзя было предсказать. Такие последовательности чисел получают по специальным программам для ЭВМ.

Метод статистических испытаний может применяться при моделировании самых разнообразных ситуаций. Вначале на основе экспериментальных данных определяется

статистический закон распределения соответствующих параметров исследуемой системы, затем с помощью ЭВМ получают ряд чисел, подчиняющихся данному закону. Так имитируется вход системы. Каждой реализации (каждому случайному числу) соответствует определенный параметр, характеризующий поведение системы при данном значении входа. Таким образом, с помощью этого метода мы получаем характеристики поведения системы без проведения так называемых натурных экспериментов (на реальных системах). Современные электронные цифровые вычислительные машины дают возможность проводить огромное число таких экспериментов (реализаций) за самые короткие промежутки времени. Это, конечно, очень существенный фактор для исследователя.

Необходимо здесь упомянуть и о специальных методах, связанных с решением задач календарного планирования, в частности, о **методах теории расписаний**. Кратко остановимся на одном из них — **методе Джонсона**. Пусть мы имеем два станка, на которых последовательно должны быть обработаны n деталей. Время обработки всех деталей разное. От порядка, в котором будут запущены в обработку эти детали, зависит общая продолжительность прохождения всех деталей через два станка. Джонсон предложил оригинальный алгоритм, который позволяет однозначно выбрать такой порядок прохождения деталей через эти операции, при котором общая продолжительность их обработки будет минимальной. В теории расписаний разработаны и другие методы, позволяющие решать более сложные задачи календарного планирования производственных процессов.

В последние годы ускоренными темпами развивается научная дисциплина, называемая **исследованием операций**. Математическим аппаратом здесь служат методы, описанные выше; предметом исследования операции — всевозможные системы, функционирование которых обусловлено определенной целью. Причем реальное содержание этих систем может быть различным; с помощью методов этой науки могут исследоваться экономические, технические, военные объекты и процессы.

Появление исследования операций было связано в основном с необходимостью решения некоторых военных задач. Но базой их развития и дальнейшего углубления послужили задачи экономического характера.

Появление новых математических методов (математического программирования, теории игр, теории массового обслуживания и т. д.) поставило перед исследователями проблемы разработки методологии их использования, выработки общих принципов анализа реальных объектов, связанного с количественным описанием их параметров.

В исследовании операций рассматриваются вопросы численной оценки тех или иных действий, которые предпринимает система для достижения поставленных целей. Важный момент при этом — по возможности выбрать наиболее рациональные действия, оптимальные траектории поведения системы, которые позволят достичь намеченных целей с минимальными затратами.

При анализе конкретного явления или процесса методами исследования операции выделяют пять этапов: 1) постановка задачи; 2) разработка математической модели и получение на ее основе соответствующего решения; 3) проверка адекватности модели реальной действительности и анализ в связи с этим качества решения; 4) корректировка модели и решения в случае недостаточной степени соответствия модели и реального процесса или явления; 5) реализация принятого решения.

Наиболее ответственный этап — первый. От постановки задачи, умения отделить главное в изучаемом процессе или объекте от второстепенного, от способности исследователя понять его сущность, выделить характерные черты, от того, как будет сформулирована цель, зависит в конечном счете результат, получаемый на «выходе».

Переход от качественного описания данного объекта или процесса к формализованному построение модели составляет второй этап.

Однако решение, полученное с помощью математической модели, часто не может быть сразу же непосредственно использовано на практике. Только после его анализа, проверки адекватности предпосылок модели исследуемой действительности могут быть приняты соответствующие рекомендации, связанные с корректировкой модели (если это необходимо) и принятием окончательного решения. Таким образом, в результате выполнения всех этих процедур получают уточненный вариант модели, более точно отражающей характер исследуемого объекта.

Часто некоторая перестройка модели бывает связана с отсутствием необходимой информации. В этом случае возникает потребность в «подгонке» модели к существующей системе получения информации. Так нередко происходит при моделировании экономических процессов. Здесь существующая система органов государственной статистики не может в некоторых случаях дать информацию, необходимую для решения той или иной задачи. Перестройка такой системы обходится дорого, да она и не может постоянно приспосабливаться к нуждам каждого исследователя.

Важно подчеркнуть, что задача специалиста по исследованию операций состоит не в принятии решения, а в его подготовке. Руководитель, получивший информацию от специалиста по исследованию операций, должен при принятии решений учесть множество факторов, которые ранее не были приняты во внимание. Часто эти факторы не могут быть формализованы, поэтому их нельзя ввести в модель. Сюда можно отнести интуицию руководителя, его опыт и другие факторы.

Можно выделить несколько типичных ситуаций, рассматриваемых в исследовании операций: 1) операции массового обслуживания; 2) операции управления запасами; 3) календарное планирование и составление расписаний; 4) распределение ограниченных ресурсов и оборудования при наличии различных способов производства продукта для достижения наилучших результатов. Эти ситуации охватывают значительный круг экономических проблем, решаемых с помощью математических методов. Каждому из этих четырех случаев соответствует определенный класс математических методов, например, ясно, что в четвертом случае используется аппарат математического программирования, а в первом — теория массового обслуживания. Задачи управления запасами решаются с помощью методов математической статистики (в частности, здесь можно использовать и метод статистических испытаний).

Американские ученые А. Ньюэлл и Г. Саймон предложили разделить все задачи исследования операций на два больших класса: задачи с «хорошой» структурой (возможна четкая математическая постановка) и задачи с «плохой» структурой (нельзя четко формализованно поставить задачу). Задачи второго типа предлагается

решать эвристическими методами. Если учесть то обстоятельство, что в этот класс входит огромное число задач, то понятен тот интерес, который проявляют сейчас учёные к таким методам.

Сущность эвристических методов состоит в отыскании таких способов решения, которые хотя и не приводят к оптимальным результатам, но значительно упрощают и улучшают процедуру по сравнению с полным перебором вариантов (количество перебираемых вариантов часто бывает таким большим, что осуществить их «просмотр» даже современной ЭВМ не под силу). Развитие эвристических методов связано с развитием вычислительной техники. Без ЭВМ они не могут быть реализованы с соответствующим эффектом. Основа этих методов — аналогия и индукция. Было замечено, что именно в соответствии с такими правилами работает мозг, они составляют базу творческих способностей человека. Характерная область применения эвристических методов в управлении — решение задач календарного планирования, большая часть которых принадлежит к задачам с «плохой» структурой.

Специфический инструмент решения ряда экономических задач представляют **сетевые методы**. Появились они позже всех методов, описанных выше, однако в смысле практической реализации в настоящее время они занимают, пожалуй, одно из первых мест. Удивительно быстро проложили они себе дорогу в практику. Ведь в СССР они начали разрабатываться только в 1961—1962 гг. А сейчас они реализуются в тысячах организаций и предприятий, с их помощью строятся сложные народнохозяйственные объекты, на их основе разрабатываются планы и осуществляется управление самыми различными процессами. Диапазон их использования огромен — от планирования и управления работой крупных киностудий страны (сетевые методы, например, с успехом используются на киностудии «Мосфильм») до разработки сложнейшей программы космических полетов. Дело внедрения сетевых методов анализа сразу же приняло государственный характер. Например, в 1965 г. было принято решение об обязательном обучении этим методам работников госкомитетов, министерств и ведомств.

Сетевые методы нельзя отнести к оптимизационным, хотя и существуют способы нахождения в некоторых случаях наилучших вариантов на их основе. Они больше свя-

заны с анализом всего комплекса осуществляемых для реализации определенного проекта работ. При этом соблюдается основной принцип использования сетевых методов — выделение ведущего звена. В соответствии с этим принципом во всей совокупности элементарных операций выделяются те из них, которые в случае невыполнения их в срок задержат, например, ввод в строй какого-либо объекта.

Значительным достижением является разработка способов построения стохастических сетевых моделей, в которых анализируемые параметры имеют вероятностный характер. Это сразу же позволило поставить сетевые методы в ряд наиболее эффективных методов нахождения тех или иных рациональных управлеченческих решений.

Покажем на примере, как используются сетевые методы, какие основные понятия здесь применяются.

Перед разработкой сетевой модели весь комплекс соответствующих работ разбивается на ряд элементарных операций (ее реализация предполагает получение конкретного результата). Каждой такой операции соответствуют определенные количественные характеристики (продолжительность, стоимость и т. д.). Разработке сетевой модели предшествует составление таблицы, в которой представлена вся необходимая информация.

Пусть для выполнения какого-либо комплекса работ требуется произвести десять операций (например, процесс строительства дома может быть представлен в виде ряда отдельных операций: возведение фундамента, каркаса здания, сооружение крыши, прокладка канализа-

Т а б л и ц а 6

Операция	Продолжи- тельность работы	Номер после- дующего события	Номер пред- шествующего события
<i>A</i>	4	2	1
<i>B</i>	1	3	1
<i>C</i>	1	3	2
<i>D</i>	2	5	2
<i>E</i>	3	4	2
<i>F</i>	2	6	3
<i>G</i>	1	6	4
<i>H</i>	3	7	4
<i>I</i>	1	7	6
<i>J</i>	2	7	5

ционной сети, штукатурные и малярные работы и т. д.). Составим таблицу, в которой запишем исходную информацию (табл. 6).

На основе этой информации построим сетевой график выполнения работ (рис. 6). Здесь стрелки — соответствующие операции, цифры в скобках — их продолжительности; кружочки обозначают события (в этих точках начинаются и заканчиваются операции). Все события,

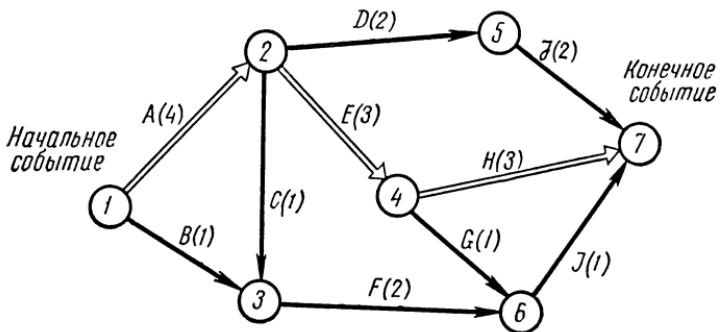


Рис. 6.

кроме начального (1) и конечного (7), имеют предшествующие и последующие операции. Ни одна операция не может начаться, если не выполнены все предшествующие операции, т. е. если не реализовано соответствующее событие. Например, нельзя начинать операцию H , если не выполнены операции A и E , т. е. пока не реализовано событие 4.

Направления стрелок указывают последовательность наступления событий. Последовательность операций и событий, в которой начало последующей операции совпадает с концом предыдущей, называется путем. Для нашего примера видно, что между начальным и конечным событиями имеется пять путей:

$1 \rightarrow 2 \rightarrow 5 \rightarrow 7$	I
$1 \rightarrow 3 \rightarrow 6 \rightarrow 7$	II
$1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 6 \rightarrow 7$	III
$1 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 7$	IV
$1 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 6 \rightarrow 7$	V

Каждый из этих путей характеризуется своей продолжительностью, например, продолжительность пути III составляют 8 единиц времени ($4+1+2+1$).

Одно из самых главных понятий, составляющее ядро сетевого анализа, — *критический путь*. Это путь, имеющий наибольшую продолжительность. В нашем случае критической является последовательность IV (на рис. 6 она изображена двойными стрелками).

В связи с тем что конечное событие не может быть реализовано, если не выполнена хотя бы одна операция, продолжительность критического пути — это время самого раннего наступления конечного события. Задержка с выполнением любой операции, принадлежащей критическому пути, приводит к увеличению сроков окончания всего комплекса работ.

Отсюда сразу же становится ясно, почему так важно в любой сетевой модели отыскать критический путь операции.

Установление критического пути дает возможность выделить ведущее звено всего проекта. Операциям, лежащим на критическом пути, должно быть уделено наибольшее внимание. В связи с нахождением критического пути рассчитывается ряд важных параметров сетевого графика. В частности, определяется наиболее раннее время наступления каждого события. Например, рассчитаем наиболее раннее время наступления события 6. Для реализации события 6 необходимо выполнить три последовательных операции:

- а) $A \rightarrow E \rightarrow G$
- б) $B \rightarrow F$
- в) $A \rightarrow C \rightarrow F$

Определим продолжительность каждого из этих путей:

- а) $4 + 3 + 1 = 8$;
- б) $1 + 2 + 2 = 5$;
- в) $4 + 1 + 2 = 7$.

Таким образом, событие 6 может начаться не раньше чем через 8 единиц времени после начала работ. Это и есть наиболее раннее время его наступления.

Наиболее позднее время наступления события определяется аналогично, но расчет начинается с конечного события. Например, наиболее позднее время наступления события 6 равно 9: от времени наиболее раннего наступления последующего события (в данном случае это событие 7, наиболее раннее время его наступления равно 10) вычитается продолжительность последующей операции (I).

Разность между наиболее поздним и наиболее ранним сроками наступления события составляет его резерв времени. Естественно, что события, принадлежащие критическому пути, т. е. ранние и поздние моменты их наступления, совпадают.

Рассмотренные нами показатели легко переводятся в показатели операций.

За последние десятилетия в области оптимизации параметров сетевых графиков достигнуты некоторые успехи. Это стало возможным благодаря использованию методов теории графов.

На основе теории графов можно решить задачу нахождения минимального времени выполнения проекта. Кроме того, теория графов часто используется как аналитический аппарат теории игр.

Большая часть описанных методов может использоваться при анализе экономических явлений, процессов как на макроуровне (отрасль, экономический район, народное хозяйство в целом), так и на микроуровне (предприятие). В частности, теория линейного программирования может служить инструментом составления оптимального плана работы отдельного предприятия, и в то же время с ее помощью можно разрабатывать оптимальные планы развития крупных отраслей и даже народного хозяйства.

Итак, мы рассмотрели основные количественные методы решения экономических задач. Конечно, арсенал таких методов богаче и шире, чем это представлено в данной работе. Имеется множество их модификаций, существуют специальные методы, предназначенные для решения определенных, ограниченных классов задач, не имеющих такого универсального значения, как перечисленные выше.

Остановимся на некоторых общих замечаниях, касающихся методологических принципов использования эко-

номико-математических методов. Мы часто бываем свидетелями недостаточно критического подхода к возможностям экономико-математических методов, иногда их границы расширяются за допустимые пределы. При этом может быть сделано большое количество ошибок, которых не трудно было бы избежать при рациональном подходе к новым дисциплинам. Метод «проб и ошибок» здесь неприемлем. Слишком дорого может обойтись исправление ошибки, а тем более ряда ошибок.

Математика привносит в экономику нечто принципиально новое. Если при традиционных способах решения экономических проблем часто не обращалось особого внимания на четкость, однозначность постановки задачи, установление критерии выбора тех или иных решений, недостаточно аргументированными с точки зрения логики были доказательства тех или иных тезисов, то математика в основном позволяет устраниить эти недостатки.

Как мы уже говорили выше, математика является мощнейшим оружием исследователя, с помощью которого уже удалось добиться не одной крупной победы в других отраслях знаний — физике, биологии, химии и т. д. Однако это оружие может обернуться и против, если оно попадет в недостаточно опытные руки, не умеющие достаточно свободно им владеть.

Как известно, аксиоматический способ исследования заключается в том, что ученый, отталкиваясь от ряда предпосылок, носящих часто интуитивный характер, с помощью формальных правил получает те или иные результаты.

В экономико-математических исследованиях нередко акцентируется внимание на этой второй стороне проблемы — на поиске достаточно строгих эффективных правил решения задач. При этом в тени остается как раз самый важный вопрос — правильный выбор предпосылок, из которых следует исходить. Таким образом, при использовании математики в экономике можно получить результат, который на первый взгляд не вызывает сомнения. Математический аппарат мы применяли правильно, все наши выкладки верны. Однако достаточно использовать всего лишь одну неверную, нереальную предпосылку, и выстроенный нами «дом» не годится для проживания в нем — его фундамент непрочен и шаток! Придет время и все строение рухнет.

КИБЕРНЕТИКА — НАУКА ОБ УПРАВЛЕНИИ И СВЯЗИ

Возникновение кибернетики

Немногим более 25 лет назад в США сформировалась группа исследователей — представителей самых различных специальностей: медиков, инженеров, математиков. Эта группа была объединена одной общей идеей — поисками общих закономерностей, присущих системам различной природы — живым и неживым. Вдохновителем и руководителем этого коллектива ученых был Н. Винер.

Вначале исследования велись по пути отыскания отдельных аналогий в живых и неживых, физических, механических, биологических и других системах.

Инженеры работали над созданием машины, которая позволяла бы читать слепым. Это устройство состояло из множества фотоэлементов, различных электрических соединений, генераторов и т. д. Когда один из известных анатомов увидел этот чертеж, он спросил: «Это схема четвертого слоя зрительного аппарата мозга?». Среди разработчиков же машины не было ни биологов, ни представителей других специальностей, изучающих живые системы.

Другой пример. Инженер-электрик Тастин заметил, что существует некоторая аналогия между системами автоматического регулирования и экономическими процессами. Тастин пришел к выводу, что можно добиться значительных успехов, если для анализа экономических явлений использовать идеи, разработанные инженерами-проектировщиками систем автоматического регулирования и такие традиционные для техники понятия, как обратная связь, стабильность, колебания и т. д.

В 1948 г. вышла книга Н. Винера «Кибернетика». Отсюда и ведется отсчет возраста кибернетики. В этой работе были сформулированы основные идеи кибернетики, определены основные ее понятия: информация, связь, обратная связь, управление.

Интересно происхождение самого слова «кибернетика». Платон этим словом обозначал процесс управления

кораблем. Французское слово «gouverner» и английское «to govern» — управлять — происходят от слова «кибернетика». Ампер называл науку об управлении государством «кибернетикой» (*cybernétique*).

Таким образом, древним словом названа одна из самых юных наук.

До сих пор нет единого мнения по поводу предмета данной науки, ее аппарата, сущности. Например, некоторые ученые отождествляют кибернетику и математику, кибернетику и теорию автоматического регулирования. Так, немецкий ученый К. Штейнбух (ФРГ) ошибочно утверждает: «Кибернетический подход можно охарактеризовать как внедрение математических методов исследования в такие области науки, в которых математика до сих пор практически не применялась, например, в физиологии, психологию, социологию»¹. Это обеднение, сужение новой науки, а в конечном счете и искажение ее сущности. Кибернетика — это прежде всего новый образ мышления, а не применение старых методов в новых областях.

Как сказал один из основателей этой науки английский ученый У. Р. Эшби, «истины кибернетики не нуждаются в выведении из какой-либо другой отрасли науки. Кибернетика имеет свои собственные основания»². Другое дело, что ее идеи с успехом используются в самых различных отраслях знаний: медицине, биологии, экономике, технике и т. д. Кибернетика создает целостное представление о предмете, отдельные части которого изучаются соответствующими специалистами.

Кибернетика — это результат «стыковки» наук. Мы уже в первом разделе говорили об успехах, которые сопутствуют «наукам — перекресткам». В полной мере это относится и к кибернетике.

Кибернетика абстрагируется от вещества, составляющего ту или иную систему. Ее интересуют функциональные характеристики объектов живой и неживой природы, а не то, из чего они состоят. Ученые-кибернетики спрашивают «Не что это такое?», а «Что оно делает?». Здесь

¹ Штейнбух К. Человек и автомат. Пер. с нем. М., «Советское радио», 1967, с. 361.

² Эшби У. Р. Введение в кибернетику. Пер. с англ. М., Изд-во иностр. лит., 1959, с. 14.

можно провести аналогию с математической физикой, где изучаются не существующие в реальной жизни объекты, например, такие, как пружина без массы, частица, имеющая массу, но не имеющая объема, и т. д. В кибернетике изучаются все системы.

Представление о предмете и сущности данной науки могут дать следующие три формулировки:

Кибернетика — это «теория управления и связи в машинах и живых организмах»¹.

Кибернетика — это наука «о способах восприятия, хранения, переработки и использования информации в машинах, живых организмах и их объединениях»².

«Кибернетика — это наука об оптимальном целенаправленном управлении сложными динамическими системами»³.

Эти определения не противоречат друг другу, они характеризуют предмет со всех сторон, учитывают все аспекты. Однако в них встречаются понятия, которые сами нуждаются в расшифровке: информация, управление, связь, система. Они составляют ядро новой науки. Только тогда, когда мы их разберем, возможно составить достаточно ясное представление о кибернетике.

Основа управления — информация

Информация — это важнейшее понятие кибернетики, ее «начало начал». Информационные процессы, происходящие во всяких, живых и неживых, системах — объективны и неотъемлемы от них. Нельзя рассматривать информацию вне этих систем и эти системы вне информационных процессов, происходящих в них.

Основное открытие кибернетики — это установление качественного единства информационных процессов в живой и неживой природе, в том числе и в социальных и экономических процессах.

Живые и неживые системы сохраняют свою организацию благодаря информации. Связь между отдельными подсистемами живых и неживых объектов возможна

¹ Винер Н. Кибернетика. Пер. с англ. М. «Советское радио», 1958, с. 23.

² БСЭ. Изд. 2-е. Т. 51, с. 149.

³ Берг А. И. Кибернетика и надежность. М., «Наука», 1963, с. 11.

только на основе информации, которая имеет различную форму, но содержание у нее одно: данные о состоянии отдельных элементов объектов.

Различные системы функционируют целенаправленно благодаря существованию некоего управляющего механизма. Информация, поступающая от отдельных подсистем в управляющую систему, перерабатывается, и здесь же вырабатываются управляющие сигналы для отдельных элементов. Таким образом, информация — необходимый элемент управления, а без управления невозможно целенаправленное поведение любой системы.

Как известно, в число фундаментальных понятий, которые выработала классическая физика, входят: вещества, движение, пространство, энергия, время. Кибернетика доказала, что этих понятий недостаточно для полной характеристики реального мира. Создание научной картины действительности требует использования фундаментального и всеобщего понятия информации. Установление этого факта — одно из самых значительных достижений кибернетики.

Как мы уже говорили выше, в кибернетике абстрагируются от вещественной природы систем и отдельных элементов. Ученых-кибернетиков интересуют только процессы получения, переработки и передачи информации. Иначе говоря, системы, изучаемые кибернетикой, замкнуты для информации, но открыты для материи и энергии, т. е. исследователя-кибернетика не интересуют энергетические преобразования, осуществляемые в системе, а также количество и характер материальных объектов, участвующих в этих преобразованиях. Он выявляет «числую» логику управления, информационные механизмы управления.

Конечно, вещественный и информационный аспекты неотделимы друг от друга, не мыслятся друг без друга. Всегда необходимо иметь в виду, что информационные процессы отражают вещественные и энергетические процессы. Трудовая деятельность по изготовлению какой-либо продукции представляет собой вещественное преобразование, но если мастер выписывает наряд на изготовленные детали, то это уже информационное событие. Транспортировка какой-либо продукции — вещественный процесс, но отражение количества данной продукции в накладных представляет собой информационное преоб-

разование. Таким образом, между вещественными и информационными процессами существует взаимно однозначное соответствие.

В настоящее время понятие информации используется в нескольких аспектах, в соответствии с этим оно имеет несколько определений. Вообще это понятие настолько широкое, что ему трудно дать полную, всеобъемлющую формулировку. Оно представляет собой такую же абстракцию, как, например, понятия материи, энергии.

«Информация — это обозначение содержания, полученного из внешнего мира в процессе нашего приспособления к нему»¹. Это самое простое и неполное определение.

Как известно, при получении каких-либо значимых сообщений в любой форме об интересующем нас объекте наши знания о нем увеличиваются, т. е. в этом смысле информация устраниет неопределенность. Теория информации, начало которой положил английский ученый К. Шенон, и рассматривает информацию как меру устранения неопределенности. Причем здесь эта мера характеризуется количественно.

Допустим, рассматривается система, состоящая из получателя информации, изучаемого объекта и канала, по которому передается сообщение об объекте. В теории информации предполагается, что получатель информации задает априорное распределение вероятностей состояний изучаемого объекта. По мере получения соответствующих сообщений по каналу это распределение меняется, т. е. уменьшается неопределенность знаний об объекте. Соотношение между априорным и апостериорным распределением вероятностей (полученным после того, как сообщение достигло получателя) и принято считать мерой количества информации. Если обозначить вероятности различных состояний изучаемого объекта до приема сигнала через p_1, p_2, \dots, p_n , то количество информации (I), содержащейся в сигнале, после которого изменились знания об объекте, определяется так:

$$I = - \sum_{i=1}^n p_i \log p_i.$$

¹ Винер Н. Кибернетика и общество. Пер. с англ. М., Изд-во иностр. лит., 1958, с. 31.

При определении понятия информации в шенноновском смысле отвлекаются от качественных особенностей рассматриваемых объектов и языков, на которых они описываются.

В последнее время заметны тенденции трактовки информации как средства упорядочения материального мира, как способа ликвидации дезорганизации, хаоса материи. Эта трактовка непосредственно связана с вышеприведенной, но она значительно шире и полнее. Действительно, если уменьшается неопределенность знаний об объекте, то тем самым предполагается уменьшение разнообразия его состояний, а это в свою очередь позволяет эффективно им управлять.

Теперь нам должно быть ясно, как важна концепция информации в управлении экономическими процессами. Информация — это тончайший инструмент исследования процессов в экономике, так как он позволяет «анатомировать» объекты, выявлять взаимосвязи внутри них в чистом виде. Затем наши рассуждения можно наполнять конкретным содержанием, деталями конкретной системы.

Особенно важна в экономике проблема оценки полезности информации. Ведь не секрет, что часто на тех или иных предприятиях используется множество лишних данных, документов, форм отчетности. Это, естественно, затрудняет их работу. Помочь избавиться от излишней информации, найти оптимальные объемы полезной информации, которые позволят эффективно управлять экономическими объектами на самых разных уровнях народного хозяйства, — одна из задач кибернетики.

Еще более важной проблемой является своевременность поступления информации. Вообще информация — это «скоропортящийся продукт». По образному выражению А. И. Берга и Ю. И. Черняка, ее «меньше всего можно уподобить вину, у которого в процессе старения улучшаются качество и аромат». Часто много ценных сведений «умирает» в связи с тем, что они дошли до адресата с опозданием.

В экономике с процессами переработки информации мы встречаемся на каждом шагу. Плановик решает проблему распределения ресурсов между некоторыми предприятиями. При этом он использует самую различную информацию, формы ее реализации также различаются. Например, у него есть данные о мощностях предприятий,

о их производственных возможностях, о планах выпуска за прошлые годы. Все это информация, представленная в виде различных отчетов, справок и т. д. Кроме того, в своей работе он, конечно же, использует знания, полученные в учебном заведении, из книг, справочников и т. д. Это тоже информация. Часть данных может быть им получена из бесед с работниками данных предприятий и своими коллегами. Переработав всю массу полученных сведений, он находит решение, которое представляется в виде доклада, распоряжения и т. д. В конечном счете мы имеем информацию и на выходе системы.

Человек часто бывает не способен воспринять и переработать всю информацию за время, которое для этого требуется. Возникают задержки с выдачей решения или принимается решение на основе ограниченного количества тех данных, которые человек успел переработать, осмыслить. И в том и в другом случае нарушается сам процесс управления. Поэтому так важна проблема рационализации информационных потоков и автоматизации получения, переработки и передачи информации.

Обратная связь — фундаментальный принцип управления

С открытия принципа всеобщности обратной связи для живых и неживых систем, собственно говоря, и началась кибернетика.

Во время второй мировой войны Н. Винер работал над созданием эффективной системы наводки зенитного орудия на цель. Им было разработано оригинальное устройство, которое позволяло автоматически производить эту операцию, т. е. с помощью этого устройства осуществлялась автоматическая корректировка положения прицела по отношению к цели. Таким образом, Н. Винер создал искусственную систему с обратной связью.

В 1942 г. он начал поиски аналогий обратной связи в живых организмах. Человек страдает тяжелым недугом. Ему предлагают взять папиросу, но он промахивается, рука «проходит» мимо папиросы. Так повторяется несколько раз. Это атаксия, заболевание, связанное с поражением органов, ответственных за подачу сигнала о степени приближения руки к предмету, который необходимо взять, т. е. за действие обратной связи. Было найдено множество таких примеров.

Одним из первых сделанных человеком механизмов, в котором сознательно использовался принцип обратной связи, является созданный около 200 лет назад регулятор Уатта. Его устройство основано на следующих принципах. Маховик парового двигателя соединен с рычагами и грузами. Вся эта система вращается. Рычаги соединены с клапанами, с помощью которых регулируется подача пара в цилиндр. Чем больше скорость, тем больше под влиянием центробежной силы поднимаются вверх грузы, а вместе с ними и рычаги, следовательно, тем меньше пара попадает в цилиндр. В связи с уменьшением подачи пара падает скорость. Система находится в динамическом равновесии, давление пара колеблется вокруг установленной заранее величины. Это как бы своеобразный живой механизм, компенсирующий в определенных пределах возмущения извне. Причем часто эти возмущения могут быть случайными, неопределенными, неизвестными нам, но система реагирует на них одним, известным ей способом. Для нее безразлична природа, происхождение этих возмущений, ей не нужно «узнавать» их. Ее задача — реагировать на них соответствующим образом, если они нарушают ее равновесное состояние.

Приведем простейший пример из жизни. Допустим, нам необходимо перейти улицу. Наши органы чувств (уши, глаза) собирают информацию о положении транспорта на проезжей части. На основе этой информации, переработанной в мозгу, мы получаем сигналы, которые заставляют нас двигаться соответствующим образом: побыстрее или помедленнее, меняя или не меняя направление. Так срабатывает обратная связь.

Теперь мы видим, сколь многообразна обратная связь. Она, по сути дела, представляет универсальный механизм целенаправленного поведения систем любого качества и любых уровней развития (обратная связь встречается и у простейших организмов, в частности у амеб).

Дадим более точное и четкое определение обратной связи. Рассмотрим две схемы регулирования (рис. 7) (здесь x — регулятор, y — объект регулирования).

На рис. 7 а регулятор x получает сигнал о состоянии входа и соответствующим образом на основе заранее заданной программы оказывает воздействие на объект регулирования, чтобы получить заданное значение выхода.

Рис. 7б отличается от рис. 7а тем, что здесь отсутствует связь e , но зато имеется связь k — от выхода к регулятору x . Теперь регулятор так воздействует на объект регулирования y , чтобы поддерживать состояние выхода в заранее заданных пределах, несмотря на возмущающие сигналы, поступающие на вход и изменяющие его. Это есть подлинно кибернетическое регулирование — регулирование с обратной связью. Иначе его называют регулирование по отклонениям.

Таким образом, принцип обратной связи заключается в том, что на выходе системы формируется сигнал рас-

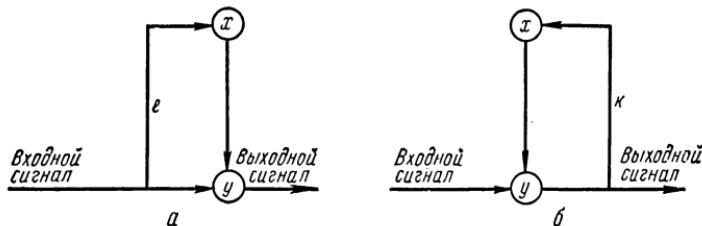


Рис. 7.

согласования между фактическим значением выхода и заданным, и этот сигнал подается в регулятор, действия которого направлены на уменьшение такого рассогласования.

Различают отрицательную и положительную обратную связь. При отрицательной обратной связи сигналы фактический и заданный вычитаются, т. е. обратная связь противодействует изменениям выхода объекта регулирования. При положительной обратной связи соответствующие сигналы складываются и в связи с этим усиливаются изменения выхода.

Можно привести математический пример обратной связи. Пусть имеется система двух уравнений:

$$z = 5xy;$$

$$c = x + y^3.$$

Здесь при изменении y меняется x , и наоборот.

Еще А. А. Богданов в своей работе «Всеобщая организационная наука» рассматривал механизм, подобный обратной связи, называя его «биорегулятором». Вообще

А. А. Богданов предвосхитил многие идеи кибернетики. Он говорил: «Возможно, что другие лучше выполнили бы дело; но этих других приходится ждать»¹.

Известный физиолог Бернштейн, исследуя двигательные реакции человека, пришел к выводу о важности обратной связи для этих процессов (1928 г.).

В 30-х годах видный советский физиолог Анохин сформулировал понятие, аналогичное обратной связи. Он назвал его «обратной афферентацией» — информация о результатах, полученных после выполнения определенной команды.

Итак, кибернетика не появилась на пустом месте. Многие ученые внесли свой вклад в создание этой науки. Ее идеи зрели в течение многих лет, еще до того, как «команда» Н. Винера взялась за это дело всерьез.

Сложные кибернетические системы характеризуются своей неопределенностью. В этих условиях использование принципа обратной связи — незаменимое средство создания эффективно управляемых систем. Особенно это касается экономических процессов и явлений.

Экономика — это кибернетическая система со сложными, многосторонними, разнообразными связями между ее элементами. Человеку становится все труднее охватить все эти связи, принимать их во внимание при управлении экономическими объектами. Обратные связи позволяют снять часть такого груза с плеч человека и передать его самой системе. Таким образом, от состояния обратных связей зависит эффективность процесса управления теми или иными экономическими объектами. Причем в отличие от живых и технических систем в социальных, экономических процессах успешность реализации обратных связей во многом зависит от человека как элемента рассматриваемой системы, который может как способствовать, так и препятствовать ее действию.

Приведем простейший пример. Руководитель предприятия отдает соответствующие распоряжения начальникам отделов, цехов, служб. Те в свою очередь должны «выдавать» управляющие команды своим подчиненным и т. д. Но если директор, начальник отдела не будут

¹ См. Богданов А. Всеобщая организационная наука. Ч. I, с. 1.

знать своевременно (а тем более, если они не узнают совсем), как выполняются их распоряжения, то процесс управления, по сути дела, нарушится, система, как говорят специалисты по автоматическому регулированию, пойдет «вразнос». Если обратная связь не действует или действует не эффективно (например, сведения о выполнении плана за день отделом и цехом поступают с опозданием), то аппарат управления не сможет выработать вовремя управляющее воздействие при каких-либо нарушениях. И дело человека здесь создать такой механизм, который способствовал бы непреложной и своевременной реализации обратных связей. Автоматизированные системы управления, о которых более подробно будет сказано ниже, как раз и представляют собой такой механизм. Здесь соединяются два достоинства: огромная скорость переработки и получения информации и автоматическая реализация значительной части обратных связей, что создает условия для повышения эффективности системы управления в целом.

Сложная система — объект исследования кибернетики

Система — фундаментальное понятие кибернетики. И дело здесь совсем не в том, что тот или иной объект исследования кибернетики мы называем системой. Дело в выработке особого подхода, принципа, который используется при рассмотрении данного процесса или явления как системы. Этот подход соответственно и называется системным.

Слово система происходит из греческого языка, оно обозначает целое, состоящее из частей. Это понятие уже давно употребляется и в научной литературе, и в повседневной жизни, причем в самых различных значениях. Однако лишь в последние годы благодаря созданию и развитию общей теории систем оно официально получило «права гражданства» и более или менее четкое определение.

Обычно под системой понимают совокупность, комплекс тех или иных объектов. Например, говорят о системе органов здравоохранения или о спортивном комплексе. При этом предполагается, что между отдельными объектами системы существует какая-то связь. Таким образом, мы уже интуитивно, на основе здравого смыс-

ла довольно точно охарактеризовали сущность этого понятия. Надо отметить, что хотя в литературе встречается несколько определений этого понятия, большинство из них не противоречат друг другу, они различаются только полнотой.

Итак, система — это комплекс взаимосвязанных, взаимодействующих элементов или, как говорят в кибернетике, *переменных*. Если исходить из предпосылки о том, что в мире все взаимосвязано, то на первый взгляд такое определение кажется абсурдным. Но оно вполне правомерно. Система — это абстракция; при использовании этого понятия предполагается, что имеются наблюдатель, объект наблюдения и задача, которую поставил перед собой наблюдатель в отношении данного объекта. Ясно, что один и тот же объект в зависимости от задач, поставленных перед исследователем, может быть отнесен к разным системам, при этом будут отличаться признаки, на которые обращается внимание (остальные просто не учитываются). Например, строителя будут интересовать габариты оборудования вновь строящегося завода; экономиста — его производственные возможности; органы, ведающие учетом и распределением рабочей силы, — потребность в рабочей силе и т. д.

Система и реальный объект — не одно и то же. Реальный объект существует независимо от нас, объективно, а система — это субъективное построение

Переменные системы в процессе изменения принимают ряд конкретных значений. В каждый момент времени система находится в одном из множества своих состояний, т. е. каждая из ее переменных принимает одно из множества значений.

Различают *существенные* и *несущественные* переменные. Первые влияют в определенных пределах на поведение всей системы, их изменение влечет за собой изменение поведения системы; вторые не оказывают воздействия на систему или такое воздействие незначительно. Например, в межотраслевом балансе выделяют важные (существенные) и второстепенные (несущественные) коэффициенты прямых затрат (переменные). Если при изменении коэффициента прямых затрат соответствующий коэффициент полных затрат меняет свою величину — то это существенная переменная данной системы. Однако имеются такие коэффициенты прямых затрат,

влияние которых на коэффициенты полных затрат незначительно; это несущественные переменные.

При выделении определенной конкретной системы все, что к ней не относится, называется средой. Система связана со средой определенным количеством входов и выходов. Естественно, что разделение среды и системы носит условный характер. Например, можно рассматривать завод, как систему, а министерство относить к элементам среды, или, наоборот, если мы исследуем министерство, то для нас — это система, а завод — элемент среды, связанный с системой — министерством — через соответствующие входы и выходы.

Обычно в кибернетике изучают так называемые *относительно-обособленные системы*. Они связаны со средой по крайней мере одним входом и одним выходом.

Одно из существенных свойств системы — ее делимость на части, которые тоже представляют собой системы (подсистемы). Например, народное хозяйство страны состоит из районных и отраслевых комплексов, в которых в свою очередь можно выделить объединения, предприятия. Отдельные предприятия делятся на цехи, участки и т. д. Таким образом, любую систему можно представить как бы в виде набора матрешек, входящих одна в другую. Так устанавливается иерархия систем. Причем каждую подсистему можно исследовать и как самостоятельную систему, и как элемент системы более высокого уровня иерархии, или вообще всей рассматриваемой системы в целом (суперсистемы).

Кибернетика занимается изучением сложных систем. Такие системы характеризуются многообразием, неоднородностью связей и элементов. Например, большинство современных промышленных предприятий представляет собой сложные кибернетические системы, все связи между элементами которых проследить непосредственно трудно, так как они разнообразны и многочисленны: это и связи внутри предприятия — между цехами, отделами, отдельными рабочими; и связи с соответствующими министерствами, ведомствами и т. д. Причем различаются экономические, административные, этические и другие отношения как внутри предприятия, так и с другими предприятиями и вышестоящими организациями.

Благодаря кибернетике появилась возможность исследования и управления сложными системами на осно-

ве эффективных методов. При этом изучаемый объект рассматривается в комплексе, принимаются во внимание все его существенные характеристики.

Основной метод изучения сложных кибернетических систем — метод «черного ящика». Он часто используется в повседневной жизни. Приведем простейший пример. Хозяйка варит суп. Открывая крышку кастрюли и пробуя суп на вкус, она добавляет те или иные специи. При этом она может не знать, какие физические или химические превращения происходят в продуктах, находящихся в кастрюле, под воздействием высокой температуры. Для нее важны вкус, цвет, запах — выходы системы. Воздействуя на входы этой системы, варяя ими, добавляя в тех или иных количествах соответствующие специи, хозяйка изменяет и выходы. Так решается проблема получения вкусного блюда с помощью метода «черного ящика».

В начале почти каждого научного исследования ученый сталкивается с необходимостью использовать метод «черного ящика». Известная гипотеза Гарвея о кровообращении, которая впоследствии блестяще подтвердилась, — хороший пример в этом смысле. Не обладая достаточным количеством фактов, не имея возможности непосредственно наблюдать кровеносную систему, этот ученый сделал поразительно верные выводы о принципах движения крови в организме. Организм в этом случае рассматривался как «черный ящик», непроницаемый для наблюдателя. Было известно только, что в организме имеются односторонние клапаны, а также самим Гарвейем было установлено, что после сокращения сердца всегда расширяется аорта.

В процессе использования метода «черного ящика» наблюдаемый объект как бы закрыт от наблюдателя, его не интересует содержание внутренних процессов, происходящих в нем, его структура. Исследователь может варьировать только входами и фиксировать реакции выходов. В результате ему становятся известными функциональные связи входов и выходов, что дает возможность получить динамические характеристики поведения исследуемого объекта.

Любой объект в таком исследовании можно образно представить себе в виде непроницаемого черного футляра, где к одной стороне подведены проводники тока —

входы, а к другой прикреплены циферблаты — выходы. С изменением характеристик входов изменяется положение стрелок на циферблатах. Не вскрывая футляра, варьируя только входами, мы можем иметь достаточно полное представление о поведении этой системы в целом.

Плановик на предприятии, в министерстве или в центральном плановом органе на каждом шагу сталкивается с проблемой «черного ящика». Он может не знать, например, в деталях процессы, проходящие при обработке тех или иных изделий, но он знает, что распределяя тем или иным способом сырье между станками, варьируя наличными ресурсами, можно получить определенное количество готовой продукции — выход системы.

С момента зарождения идей системного подхода к анализу многообразных явлений и процессов реального мира прошел довольно значительный период. Впервые в качестве систем стали рассматриваться биологические объекты, когда, например, отдельные процессы, происходящие в человеческом организме, стали изучаться в комплексе, анализироваться их взаимосвязи и взаимодействия. Это позволило получить принципиально новые представления об организме человека (и вообще живого существа) и его жизнедеятельности.

В экономике системный подход первыми использовали К. Маркс и Ф. Энгельс. Они рассматривали экономические процессы, происходящие в капиталистическом обществе, как результат взаимодействия всех процессов общественной жизни. При этом они исходили из диалектического единства материального мира. Такой метод дал возможность построить точную и стройную теорию капиталистического способа производства.

Первый более или менее развернутый вариант «общей теории систем» был сформулирован известным ученым Л. Берталанфи сразу же после окончания второй мировой войны. Он предпринял попытку выработать общие стратегические приемы исследования систем независимо от их материального содержания.

Интенсивные исследования в области «теории систем» начали вестись в 50—60-х годах. Причем эти исследования сразу дали возможность получить практические результаты. Особенno эффективными они оказались в военной области, где большую роль играет неопределенность при оценке основных факторов, обусловливающих

выбор направления строительства вооруженных сил: экономическое и политическое развитие страны, соотношение сил на мировой арене, научно-технический прогресс и т. д.

Системный анализ нашел применение и в других областях общественной жизни.

Основная роль при использовании системного подхода отводится человеку, руководителю. Системный анализ дает возможность получить качественную и надежную информацию для принятия руководителем того или иного решения на основе оценки соответствующих вариантов поведения изучаемой системы. С помощью только теории системы нельзя однозначно решить ту или иную проблему, но она позволяет уменьшить вероятность грубых просчетов при принятии решения ответственным лицом.

Методы теории систем позволяют так упростить проблему, представить ее в таком виде, что для руководителя не составляет труда принять правильное решение в сложных условиях, не всегда поддающихся непосредственному анализу.

Развитие общей теории систем способствовало развенчанию фетиша точных количественных методов. Блеск математического аппарата несколько потускнел с распространением идей системного подхода к изучению сложных процессов и объектов. Неопровергнуто было доказано, что не во всех случаях точные методы представляют собой наиболее эффективный инструмент решения. В реальной жизни, где часто царит неопределенность, математика не всегда приносит желаемые результаты.

На примере часто применяемой в США системы «Planning — Programming — Budgetting» — РРВ (планирование — программирование — разработка бюджета) проиллюстрируем основные этапы реализации системного подхода к анализу сложных проблем. (Известно, что система РРВ применялась, например, при разработке программы «Апполон».) Главное в этом методе — одновременный анализ затрат на реализацию той или иной идеи и эффективности от ее внедрения.

На первом этапе осуществляется четкая и развернутая постановка задачи. Второй этап — выбор альтернативных путей решения проблемы. Затем, на третьем этапе, производится анализ ресурсов, необходимых для реа-

лизации установленных альтернатив. На четвертом этапе отдельно составляются модели эффективности и затрат (обычно единицы измерения эффективности и затрат не совпадают). В отличие от количественного показателя затрат эффективность может быть измерена и качественно (например, можно оценивать варианты эффективности так: хорошо, средне, плохо). Пятый этап — сравнение альтернатив и выбор оптимального варианта при установленном критерии оптимальности (максимум эффективности при заданном уровне затрат или минимум затрат при заданной эффективности). На последнем, шестом этапе руководитель проекта принимает решение. Это основной момент исследования.

Теория систем — это эффективное средство решения сложнейших проблем. Если до ее появления действовали по принципу — ничего, кроме лучшего (а этот принцип далеко не всегда можно было реализовать), то теперь с успехом следуют принципу — только то, что необходимо, и за минимальную стоимость.

Управление сложными кибернетическими системами

Теперь, когда мы ознакомились с фундаментальными понятиями кибернетики — информацией, обратной связью, сложной системой — можно перейти непосредственно к рассмотрению управления, к анализу его функций и особенностей.

Процессы управления присущи как живым, так и неживым системам. В общем случае под управлением понимают действия, способствующие достижению цели определенной системой, т. е. под влиянием управляющих воздействий при изменяющихся внешних условиях система сохраняет целенаправленное поведение.

Естественно, что процессы управления в биологических, технических, экономических и других системах различаются. Например, особенность биологических систем состоит в том, что в них управление целым организмом или его частями *гомеостатично*: характеристики управляемых переменных поддерживаются в определенных допустимых пределах (обеспечивающих выживание системы в целом) с помощью механизма саморегулирования. Например, температура тела человека всегда (за

исключением периода болезни) находится почти на одинаковом уровне независимо от того, сидит человек в жарко натопленной комнате или вышел в мороз на улицу. При управлении же экономическими системами огромное значение имеет социальный аспект, который привносит специфические моменты в этот процесс. Без его учета нельзя разработать теорию управления, нельзя и эффективно управлять объектами на практике.

В процессах управления любыми системами имеется и много общих черт, что позволяет изучать эти процессы вне связи их с какими-либо объектами на абстрактном уровне. Об этом мы уже ранее говорили, это отличает кибернетику от других отраслей знаний. Прежде всего, различают управляющий механизм, ответственный за выработку команд управления (в небиологических системах имеется еще и задающий блок, который задает цель развития системы) и объект управления. Между управляющим блоком и управляемым объектом циркулирует информация. На основе реализации обратных связей (мы здесь не рассматриваем простейший вид управления — «жесткий» — без обратных связей) и происходит процесс управления.

Управление всегда связано с переработкой огромного объема информации, что накладывает определенные ограничения на возможности эффективной деятельности управляющего механизма. Поэтому правильно организованная система управления строится по иерархическому принципу, в соответствии с которым выделяется несколько уровней, каждый из них (за исключением высшего), является объектом управления ступени более высокого «ранга» и в то же время вырабатывает программу поведения для нижележащего уровня. Важно отметить, что эффективная работа системы управления возможна только в том случае, если более низкий уровень представляет для более высокого уровня «черный ящик». Это значит, что «наверх» подаются только самые необходимые сведения, т. е. результаты работы, а сам процесс для верхнего уровня как бы скрыт за «черными стенками» уже упомянутого выше футляра. Такое управление исключает дублирование информации.

Эта схема управления может быть «наложена» на любую сложную систему. Мозг человека — сложнейшее управляющее устройство; его периферийная нервная

система отвечает за функционирование отдельных подсистем. В центральную нервную систему поступает лишь та информация, которая необходима для управления человеческим организмом в целом — налицо иерархичность структуры управления. В ЭВМ также имеется механизм, организующий работу всей машины — устройство управления, а за отдельные блоки отвечают локальные устройства. По этому же принципу управляет социалистическое народное хозяйство: здесь выделяются несколько уровней планирования и управления — центральные органы, министерства и ведомства, объединения, отдельные предприятия.

Такая организация управления создалась не сразу: в живых системах, например, она — плод длительной эволюции. Конечно же процесс управления будет совершенствоваться, улучшаться. И если для живых систем это всегда длительный и последовательный процесс, дляящихся тысячелетиями, то в неживых системах (социальных, экономических и т. д.) благодаря кибернетике, в частности *моделированию*, возможно добиться хороших результатов за короткий промежуток времени.

В деятельности человека на протяжении всей истории его развития построение самых различных моделей играло огромную роль. Вообще модель и моделирование — очень широкие понятия. Например, всякое познание — это уже моделирование, так как в коре головного мозга с помощью комплекса нервных клеток в идеальном виде отображается данный объект, т. е. мы имеем здесь дело с моделью объекта.

Модель представляет собой отображение определенной системы, с помощью которого воспроизводятся ее существенные признаки. Отображаться могут как реальные или абстрактные объекты и процессы, так и связи между ними и их свойства. Модели могут быть представлены в виде графиков, рисунков, формул, макетов, различного рода механических, электрических устройств.

Процесс моделирования основан на методах мышления по аналогии, которые в значительной степени содействуют прогрессу в познании окружающей нас действительности. Особенно большое значение моделирование имеет для изучения объектов или процессов, которые недоступны прямому наблюдению (вспомним знаменитую модель атома датского физика Нильса Бора, реального прототи-

па которой никто не видел) или возможности экспериментирования над ними ограничены. В этом смысле моделирование играет основную роль в создании эффективной организации управления как экономикой страны в целом, так и отдельными ее частями.

Метод моделирования помогает избежать ошибок при реализации тех или иных предложений, направленных на совершенствование функционирования системы народного хозяйства. Он имеет огромные перспективы использования.

Различают моделирование на макетах, физическое и информационное, математическое моделирование и т. д. С помощью модели самолета, уменьшенной по сравнению с оригиналом во много раз, проверяются его аэродинамические свойства. Периодическая таблица элементов Менделеева — это информационная модель.

Денежное обращение может моделироваться посредством замкнутой электрической цепи. Здесь аналогом движения денежной массы является прохождение тока по проводникам. Аккумуляторы выполняют роль банков. Подключение всевозможных сопротивлений, конденсаторов имитирует задержки в обращении; изменение стоимости денег — изменение напряжения.

Модели могут различаться в зависимости от степени их соответствия реальным объектам. Модель может воспроизводить только функциональные характеристики процесса или явления, в то время как структура и внутренние процессы объекта и модели совершенно различны. В этом случае говорят, что моделируется «черный ящик». Он раскрывается, если построенная модель наряду с функциями имитирует и протекающие внутри объекта процессы. Такие модели называются имитационными. Если материал, из которого построена имитационная модель, и объект одинаковы, то это уже тождественное отображение.

Главное в моделировании — избежать «зарослей переусложнения» и не попасть в «болото переупрощения». А для этого в каждом конкретном случае необходимо проводить тщательный и всесторонний анализ процесса моделирования, степени соответствия модели и исследуемого процесса или явления. Только на основе такого анализа может быть выяснена правомерность перенесения полученных результатов моделирования на объект.

В последние годы бурно развивается математическое моделирование, которое представляет собой одно из эффективнейших средств познания закономерностей сложных явлений и процессов. Еще В. И. Ленин писал: «Единство природы обнаруживается в «поразительной аналогичности» дифференциальных уравнений»¹. Рассмотрим следующее дифференциальное уравнение:

$$A \frac{dq}{dt} + Bq = F(t).$$

Оказывается, что с помощью этого выражения можно описать изменение во времени силы тока при замыкании рубильника в соответствующей электрической цепи, а также изменение скорости движения поршня под воздействием силы $F(t)$ в механической системе. Этим же уравнением описывается однопродуктовая модель производства в динамике.

В 1951—1953 годах в Калифорнийском университете под руководством профессора Отто Смита была построена электронная модель экономической системы капитализма. В этом аналоге движение капиталов, например, воспроизводилось электрическим током, задержка в реализации товаров — с помощью трансформаторов и т. д. На основе этой модели было выяснено, что такая экономическая система в значительной степени неустойчива (период колебаний составляет около 10 лет). Введение в систему некоторых дополнительных факторов с целью ее стабилизации лишь увеличили неустойчивость электронного аналога. Таким образом, блестяще на основе электронной модели с помощью эксперимента подтвердились выводы К. Маркса, Ф. Энгельса о циклическом характере производства при капитализме, правильно была выявлена неизбежность экономических кризисов перепроизводства. Причем с помощью этой же модели были вскрыты причины, вызывающие такие явления в капиталистической экономике, на которые более 100 лет назад указал К. Маркс: анархия производства и частная форма присвоения.

Многие ученые занимались проблемами математического описания процессов общественного, в частности

¹ Ленин В. И. Полн. собр. соч., Изд. 5-е, т. 18, с. 306.

экономического, развития. На математическом языке формулировались теории Рикардо, Кейнса, Тинбергена и т. д. Исследуя эти модели на устойчивость, учеными были сделаны неопровергимые выводы о том, что только социализм способен развиваться без кризисов, без циклических колебаний¹. Надо отметить, что эти выводы сделали далеко не марксисты, а буржуазные ученые-кибернетики.

С помощью математического моделирования удалось воплотить в жизнь намерение К. Маркса, о котором он писал Ф. Энгельсу: «Я неоднократно пытался — для анализа кризисов — вычислить эти восходящие и нисходящие в виде неправильных кривых и думал (думаю еще и теперь, что с достаточно проверенным материалом это возможно) математически вывести из этого главные законы кризисов»².

Особенно возросла роль экономико-математических моделей с внедрением и развитием электронной вычислительной техники.

Кратко этапы процесса математического моделирования на ЭВМ можно представить так:

1. Описание исследуемого объекта.
2. Описание связей между отдельными элементами объекта.
3. Формулировка математической модели.
4. Реализация математической модели на ЭВМ (изменяя соответствующие параметры исследуют поведение объекта в динамике).

В этой работе на первых двух стадиях участвуют специалисты соответствующих отраслей знаний (медики, техники и т. д.), и на двух последних — кибернетики.

ЭВМ привнесли в процесс моделирования принципиально новые моменты. Возможность строить аналоги и исследовать сложные, особенно социальные системы, в динамике может быть реализована только на современных электронных устройствах и аналоговых машинах.

¹ См., например, Гейер Г. Простые модели макроэкономики как системы автоматического регулирования.— Сб.: «Процессы регулирования в моделях экономических систем». М., Изд-во иностр. лит., 1961.

² Маркс К. и Энгельс Ф. Письма о «Капитале», М., Госполитиздат, 1948, с. 192.

Мы помним, с какими трудностями приходилось сталкиваться великому русскому ученому И. Павлову в его исследованиях условного рефлекса. Сколько надо было проявить выдумки, умения, чтобы проводить поразившие весь мир опыты на собаках, позволившие получить замечательные результаты. В настоящее время условные рефлексы моделируются на ЭВМ.

Рассмотрим существование внутренних процессов управления сложными кибернетическими системами и их закономерности. Каждая сложная управляемая система обладает огромным разнообразием — числом различных состояний. Например, для предприятия, осуществляющего всего 10 производственных процессов, можно составить десять миллионов вариантов распределения поступающего сырья между этими процессами, а также продажи продукции (на любой стадии производства)! Если каждый вариант анализировать со скоростью один вариант в минуту, то для нахождения оптимального плана при круглосуточной работе экономисту потребуется 19 лет.

Процесс управления в конечном счете сводится к уменьшению разнообразия управляемой системы, к уменьшению ее неопределенности. Фундаментальный принцип управления, названный Эшби *законом необходимого разнообразия*, гласит: разнообразие управляющей системы должно быть не меньше разнообразия управляемого объекта. Иногда этот закон формулируют по-другому: регулирующих параметров всегда должно быть больше регулируемых переменных. В соответствии с этим законом с увеличением сложности управляемой системы сложность управляющего блока также должна увеличиваться. Поэтому представляется необоснованным пессимизм по поводу все большего усложнения аппарата управления народным хозяйством и его частями в современных условиях. Это закономерный процесс. Другое дело, что восполнить разнообразие управляющей системы можно за счет внедрения современной вычислительной техники и математических методов (например, создавая автоматизированные системы управления), а не за счет привлечения дополнительных людских ресурсов.

Другой важный принцип управления (сформулирован английским ученым Ст. Биром) — *принцип внешнего дополнения*. Кратко его можно сформулировать так: любая система управления нуждается в «черном ящике», с по-

мощью которого моделируются неучтенные воздействия среды. Действительно, в любом, даже самом детальном и тщательно разработанном плане нельзя учесть все многочисленные факторы, действующие на управляемую систему. Например, это может проявляться в недостаточной разработке каких-либо плановых показателей, в неполном учете при планировании и управлении всех факторов развития того или иного производства, в недостаточном качественном уровне информации, циркулирующей в системе, и т. д.

Проиллюстрируем реализацию принципа внешнего дополнения на приведенной ниже схеме¹ (рис. 8).

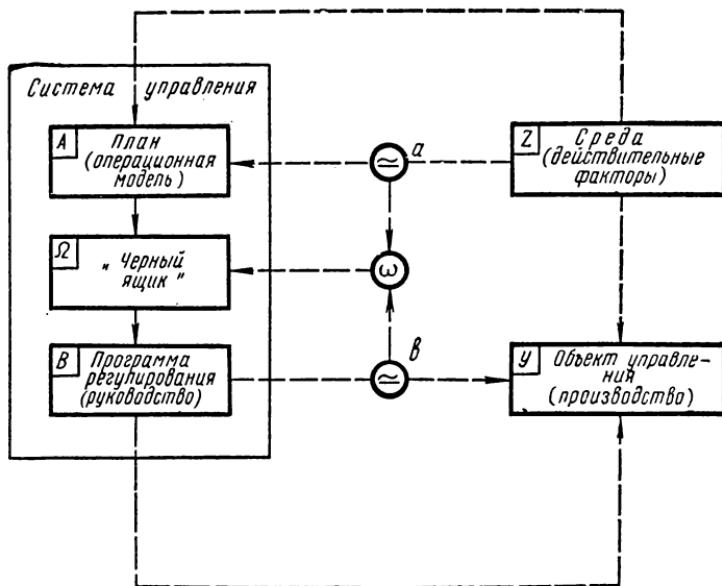


Рис. 8.

На схеме показано, что план — это приближенное отображение среды (линия Z — a — A). Это же касается и руководства (выработка управляемых воздействий)

¹ См. Майнинас Е. З. Процессы планирования экономики: информационный аспект. М., «Экономика», 1971.

объектом B (линия $B - b - Y$). Для сохранения устойчивости системы эти «рассогласования» (a и b) должны быть скоррелированы друг с другом.

Различные внешние воздействия приводят к изменению корреляции в «Черный ящик» как раз и предназначен для того, чтобы учесть эти изменения в плане A и передать подправленный план в блок B .

В теории автоматического регулирования доказано, что любая замкнутая система не обладает свойством эквифинальности — способностью достигать определенной цели различными путями, отправляясь от различных начальных условий. Но сложные кибернетические системы, в том числе и экономические, стремятся к состоянию устойчивости эквифинально. «Черный ящик» в нашем примере как раз и позволяет системе управления достигнуть такого состояния. С его помощью разрывается замкнутый контур (прямая связь к объекту управления — обратная связь от объекта) и сигналы от суперсистемы (системы более высокого порядка), в которую входит данная система и ее среда, доходят до объекта управления.

Принцип внешнего дополнения имеет огромное теоретическое и практическое значение. Ученые не раз становились в тупик, когда как будто бы детально и тщательно разработанная математическая модель, описывающая определенный экономический процесс, не «работала» в реальных условиях. Трудности такого характера встречались в том случае, если в разработанной модели не учитывалась зависимость данного объекта от внешней среды и ее двойственный характер (как элемент суперсистемы и как обособленная система). Здесь при моделировании подходили к системе как к замкнутой, тогда как на самом деле она была открытой.

Итак, в данном разделе нами рассмотрены основные понятия, характеризующие кибернетику. Эта наука сейчас находится в начале своего пути. Разработан только самый верхний «пласт» ее проблем. Получены обнадеживающие результаты как теоретического, так и прикладного характера. Ведется большая и сложная работа по развитию и углублению кибернетических идей, особенно в области планирования и управления системой народного хозяйства в целом и его подсистемами. Это широкое поле деятельности для молодой науки.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ (АСУ)

Электронные вычислительные машины — техническая база АСУ

До появления электронных вычислительных машин (ЭВМ) эффективное использование кибернетики и экономико-математических методов в управлении было невозможно. Без электронной вычислительной техники кибернетика так и осталась бы чисто умозрительной наукой, не имеющей сколько-нибудь большого прикладного значения, особенно для экономики. При использовании только примитивной ручной или даже автоматической механической счетной техники математика играла бы роль всего лишь подсобного инструмента для проведения отдельных экономических расчетов. Роль этих наук резко возросла, когда стали применяться электронные вычислительные устройства.

Успехи развития электронной вычислительной техники, кибернетики и экономико-математических методов взаимно обусловлены. Не случайно моменты формирования кибернетики как науки и разработка первых ЭВМ почти совпали во времени, а усовершенствование электронных вычислительных устройств способствовало созданию новых, более совершенных математических методов решения различных задач, в особенности экономических. Процессы интеграции элементов этой «триады» — ЭВМ, кибернетики, экономико-математических методов — продолжаются.

Люди с давних пор задумывались над тем, как ускорить и облегчить трудоемкие счетные операции. Даже появление около 3000 лет назад такого несложного приспособления, как счеты, явилось немалой победой человеческой мысли. Еще больший шаг вперед был сделан, когда в XVII в. была разработана первая механическая счетная машина. В 1823 г. английским профессором математики И. Бэббиджем было спроектировано сложное механическое вычислительное устройство, почти все основные части которого входят в структуру современных вычисли-

тельных машин, но технические возможности того времени не позволили реализовать эту идею.

Однако все это не может идти в сравнение с тем, что дало появление электронных вычислительных машин (ЭВМ). В них принципы счета, основанные на механических движениях частей, уступили место электрическим процессам, в связи с чем скорость вычислений изменилась решающим образом.

Первые ЭВМ были созданы в 40-х годах XX в. Хотя с точки зрения сегодняшнего дня эти машины были громоздкими, не совсем удобными в эксплуатации, они ознаменовали принципиально новый этап развития вычислительной техники. Не в десять, двадцать, а в десятки тысяч раз увеличилась скорость вычислений.

В ЭВМ первого поколения использовались электронные лампы, в связи с чем машины были недостаточно надежными в работе. В настоящее время такие машины уже не производятся, это прошедший этап развития техники.

Значительное улучшение параметров — быстродействия, надежности, компактности, уменьшение веса, а также, что не менее важно, уменьшение стоимости — было достигнуто при разработке ЭВМ второго поколения на полупроводниках. Такие машины наиболее распространены в настоящее время. С их помощью решается огромное множество самых разнообразных задач.

Однако наука не стоит на месте. Уже выпускаются ЭВМ третьего и четвертого поколений. Первые построены на интегральных схемах и имеют блочную структуру. Неизмеримо возрастает надежность таких машин. Известно, что слабым местом транзисторных схем являются соединения. Количество соединений в ЭВМ третьего поколения сведено до минимума. Значительно увеличивается скорость вычислений, емкость оперативных запоминающих устройств. Преимущество таких машин состоит также и в том, что они могут одновременно обслуживать несколько потребителей, причем абоненты могут находиться даже в разных городах. Особенностью ЭВМ третьего поколения, кроме того, является возможность непосредственного ведения диалога человека и машины.

Машины четвертого поколения на больших интегральных схемах (БИС) означают скачок в область сверхвысоких скоростей вычислений. Такие машины могут со-

вершать сотни миллионов операций в секунду. Тот объем вычислительных операций, который выполнялся ламповой ЭВМ за час, машина четвертого поколения может сделать за доли секунды. Физические свойства БИС позволяют значительно увеличить также надежность таких машин.

Несмотря на огромное разнообразие марок ЭВМ, все они устроены по одному и тому же принципу. ЭВМ состоит из нескольких основных частей, различающихся деталями конструкции, но выполняющих одинаковые функции в разных машинах: устройства ввода и вывода, память, арифметическое устройство и устройство управления.

Память электронной цифровой вычислительной машины делится на быструю (оперативную) и медленную (долговременную). В качестве элементов, составляющих оперативную память, в основном сейчас используются ферритовые сердечники.

Они могут находиться в одном из двух устойчивых состояний — отрицательная или положительная магнитная индукция определенной величины. Так, элемент, состоящий из ферромагнитного материала, «запоминает», отрицательно или положительно был он ранее намагнчен. Изменяя значение напряженности магнитного поля, изменяют и знак намагниченности ферритового сердечника.

Ячейка оперативной памяти состоит из нескольких ферритовых сердечников (разрядов). Как число разрядов, так и число ячеек у разных ЭВМ различны; например, оперативная память ЭВМ «Наири» состоит из 1024 тридцатишестимерных ячеек, а ЭВМ «Мир» — из 4096 двенадцатимерных ячеек.

Как известно, мы пользуемся в повседневной жизни десятичной системой счисления: любое число в этой системе обозначается комбинацией из 10 цифр (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 0). Однако каждое число может быть представлено, например, комбинацией из 8 цифр (восьмиричная система) и из 2 цифр (двоичная система) и т. д. В ЭВМ чаще всего используется двоичная система счисления (0 и 1) в связи с тем, что здесь легче всего ее технически реализовать. Если одно из состояний ферритового сердечника обозначим через 0, а другое — через 1, то в ячейке ЭВМ может быть записано любое число соответствующей длины (в зависимости от количества разрядов ячейки).

Также можно записать любое слово, текст, если буквы алфавита обозначить цифрами.

Значительное увеличение объема оперативных запоминающих устройств (ОЗУ) может быть достигнуто за счет применения вместо ферритовых материалов проводников с магнитным покрытием, тонких магнитных пленок и т. д. В современных ЭВМ емкость ОЗУ достигает нескольких миллионов бит. Кроме того, использование таких материалов позволяет увеличить скорость обращения к ОЗУ.

Медленная (долговременная) память представляет собой накопители на магнитных лентах (магнитных барабанах, магнитных дисках), на которых информация записывается в виде электромагнитных сигналов. Эта память практически имеет неограниченный объем. Конечно, время записи или выборки информации в долговременной памяти значительно больше, чем в оперативной.

Устройства ввода и вывода предназначены соответственно для ввода чисел, слов, текстов в машину и вывода информации из машин. Перед началом работы ЭВМ вся информация с помощью специальных приспособлений (перфораторов) переносится на перфокарты или перфоленты, на которых в соответствующем порядке пробиваются отверстия (отверстие обозначает 1, отсутствие отверстия — 0). Затем эти носители информации закладываются вчитывающее устройство ЭВМ, которое позволяет записать все данные уже непосредственно в память машины. Закодированная в двоичной системе информация на выходечитывающего устройства превращается в электрические сигналы: наличие напряжения на проводнике этого устройства соответствует отверстию на перфокарте или перфоленте (1), а отсутствие напряжения — отсутствию отверстия (0).

Обратное преобразование происходит при выводе решения задачи на бумажную ленту или телевизионный экран в виде чисел, а также в виде документов, графиков и т. п.

Надо отметить, что скорость выполнения этих операций значительно меньше скорости вычислительных операций, совершающихся в самой машине. Перед проектировщиками ЭВМ стоят принципиальные проблемы создания таких устройств ввода и вывода, которые позволили бы ликвидировать этот «скоростной» разрыв.

Уже имеются определенные успехи в области разработки речевого устройства ввода-вывода, т. е. в недалеком будущем пользователи смогут обращаться к электронным вычислительным машинам непосредственно, минуя перфокарты или перфоленты

Арифметические и логические операции выполняются в *арифметическом устройстве* ЭВМ. Причем современные вычислительные машины могут работать со скоростью до нескольких десятков миллионов элементарных операций в секунду. Быстродействие логических схем возрастает в десять раз каждые 10 лет, причем стоимость ЭВМ с течением времени значительно сокращается.

Деятельность всех упомянутых выше составных частей ЭВМ координирует и увязывает *устройство управления*.

В общем виде процесс решения любой задачи на ЭВМ можно представить так: на перфоленту (перфокарты) набиваются данные, условия решения задачи и инструкция (программа), в соответствии с которой выполняются все действия над данными; затем с помощьючитывающего устройства все это вводится в память машины; нажимают пусковую кнопку, включается устройство управления и в соответствии с его командами начинает действовать арифметическое устройство, в котором и выполняются все основные операции в той последовательности, которая предусмотрена программой: решения выдаются «на печать» (например, на бумажную ленту).

Самой трудоемкой операцией, которая в большинстве случаев не поддается автоматизации, является программирование для ЭВМ. Ведь машина выполняет только те действия, которые указаны в программе. Таким образом, программа — это детализированный до предела алгоритм решения задачи.

Программа состоит из последовательного ряда команд, каждая из которых делится на три части: номер команды (адрес в памяти), код операции, адресная часть. Все команды выполняются с помощью устройства управления в заранее заданном порядке. Соответствующие номеру команды числа (они выбираются из ячейки памяти, указанной в адресе) поступают в арифметическое устройство, где согласно коду операции выполняется то или иное элементарное действие над ними. Результат пересыпается в ту ячейку памяти, адрес которой указан

в адресной части. После того как исполнена данная команда, управление передается следующей.

На составление программы специалист может потратить несколько дней, а реализуется она на машине за несколько минут. Например, даже для вычисления на ЭВМ М-20 элементарной функции $y = \frac{ax + b}{ax - b}$ требуется составить программу из 12 команд. Таким образом, одной из насущнейших проблем развития электронной вычислительной техники сейчас является автоматизация процесса программирования. В этой области достигнуты некоторые успехи. В настоящее время созданы специальные языки программирования: Алгол, Кобол, Алгэк и т. д. Они, с одной стороны, близки к нашему обычному языку, т. е. для написания программы уже не нужно привлекать специалистов-программистов, это довольно легко может сделать сам заказчик. С другой стороны, с помощью специальных программ — трансляторов программа, записанная на данном языке, автоматически переводится на язык машины. Конечно, это в определенной степени облегчает процесс программирования.

Электронные вычислительные машины все больше входят в нашу жизнь. Они с успехом используются на производстве, в науке, в самых различных областях человеческой деятельности.

За пятилетие (1971—1975 гг.) в соответствии с Директивами XXIV съезда КПСС по девятому пятилетнему плану развития народного хозяйства предусмотрено увеличить производство ЭВМ в 2,6 раза. Причем на предприятиях и организациях промышленности будет введено в эксплуатацию более двух тысяч ЭВМ.

Сейчас у нас в стране наибольшее распространение получили универсальные электронные вычислительные машины второго поколения «Минск-32». Предполагается, что в течение некоторого времени они будут составлять ядро разрабатываемых и внедряемых сейчас автоматизированных систем управления. Кроме универсальных машин большой мощности («Минск-22», «Минск-32», БЭСМ-4, БЭСМ-6, «Раздан-3») производятся электронные вычислительные устройства, предназначенные для инженерных расчетов и научно-технических разработок, для решения экономических задач («Проминь-М», «Мир-1», «Мир-2», «Наири»).

В настоящее время в СССР разработана единая система электронных вычислительных машин третьего поколения серии «Ряд». В нее входит 6 типов машин (скорость вычислений от 5 тыс. до 4 млн. операций в секунду, емкость ОЗУ от нескольких десятков до 2 млн. байт).

Машины этой серии снабжены разнообразными видами внешних ЗУ, устройств ввода-вывода, подготовки данных, телеобработки информации. Кроме того, в них предусмотрена непосредственная связь оператора с ЭВМ.

Электронные вычислительные машины стали новыми совершенными орудиями труда, принципиально изменяющими некоторые стороны деятельности человека. Нельзя, например, себе представить весь комплекс работ, связанных с запуском и полетом искусственных спутников земли, космических кораблей, космических станций, без ЭВМ. Грандиозные успехи в освоении космического пространства достигнуты благодаря электронной вычислительной технике.

С помощью ЭВМ эффективно решаются задачи ядерной физики, математики. Созданы, например, программы, позволяющие доказывать теоремы. Мы не могли бы получать так своевременно и быстро метеорологические прогнозы, если бы не использовали ЭВМ. Установка ЭЦВМ «Днепр-1» на научно-исследовательском судне АН СССР «Михаил Ломоносов» позволила обрабатывать результаты гидрофизических исследований уже во время рейса. Раньше на выполнение этой работы уходило 1,5—2 года.

Большие перспективы имеет применение ЭВМ для диагностики заболеваний в медицине, для обучения, перевода с одного языка на другой.

В условиях интенсивного развития нашего народного хозяйства, увеличения количества предприятий, производящих самую разнообразную продукцию, усложнения связей между ними эффективно управлять всеми экономическими объектами, начиная от предприятий и кончая страной в целом, без ЭВМ невозможно. В настоящее время только учетом и статистикой в нашей стране занято около 2 млн. человек. Освобождение этих работников из-под «иги» рутинного труда, дало бы огромный эффект. Это можно сделать только с помощью ЭВМ. Например, в результате использования электронных машин для рас-

четов только в системе Госбанка СССР может быть вы-
свобождено несколько десятков тысяч человек.

ЭВМ помогают составлять оптимальные планы работы предприятий, решать задачи определения оптимального сочетания отраслей в колхозах. Например, в Литовской ССР с помощью ЭВМ «БЭСМ-2М» определена наилучшая структура посевных площадей в республике. На Новолипецком металлургическом заводе ЭВМ управляют процессами плавки стали, решают задачи оперативного учета и планирования производства. ЭВМ сейчас прочно закрепляются в отраслях обслуживания, в торговле.

Затраты на покупку и обслуживание ЭВМ быстро окупаются. В частности, решение только одной задачи интенсификации режима работы нефтяных скважин дало возможность полностью окупить затраты на содержание Азербайджанского вычислительного центра.

Интенсивное развитие электронной вычислительной техники способствует утверждению у скептиков убеждения в том, что машина может в конце концов сделать человека своим рабом, придатком. Однако машина никогда не сможет заменить полностью людей в их трудовой деятельности. Она только интенсифицирует некоторые способности человека, она его помощник — не более. ЭВМ делает лишь то, что предусмотрено человеком. Люди дают машине знания, люди же и оценивают ее труд. Машина не может сама ставить задачи, разрабатывать критерии и цели решения тех или иных проблем. Высшие творческие функции всегда останутся за человеком. Паскаль, как бы предвосхищая сомнения скептиков, сказал: «Действия счетной машины гораздо больше напоминают человеческое мышление, чем все то, что способны делать животные. Однако она не делает ничего, что могло бы на-водить на мысль о наличии у нее свободной воли».

Автоматизация процессов управления

Научно-техническая революция, совершающаяся в настоящее время, заставляет искать принципиально новые подходы к управлению народным хозяйством и его звеньями. Если в тридцатых годах нашего столетия для более или менее эффективного управления экономикой СССР требовалось произвести 10^{14} математических опе-

раций, то сейчас эта цифра возросла до 10^{16} . Это качественная разница. Элементарные расчеты показывают, что если в тридцатых годах, для того чтобы осуществить все математические операции, требовалось 100 млн. человек, то сейчас требуется 10 млрд. человек! Здесь учитывается тот факт, что один человек в среднем за год может выполнить 10^6 математических операций. Однако разрозненное использование даже самых совершенных ЭВМ на предприятиях не даст необходимого эффекта.

В настоящее время интенсивно решается задача создания автоматизированных систем управления (АСУ) предприятиями, объединениями, отраслями, а в не столь отдаленном будущем — и всем хозяйством страны. На XXIV съезде КПСС отмечалось: «Наука серьезно обогатила теоретический арсенал планирования, разработав методы экономико-математического моделирования, системного анализа и другие. Необходимо шире использовать эти методы, быстрее создавать отраслевые автоматизированные системы управления, имея в виду, что в перспективе нам предстоит создать общегосударственную автоматизированную систему сбора и обработки информации»¹.

В Директивах XXIV съезда КПСС по пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР на 1971—1975 гг. перед учеными и производственниками поставлена задача разработать и внедрить к 1975 г. 1600 автоматизированных систем управления предприятиями и организациями промышленности и сельского хозяйства, связи торговли и транспорта.

АСУ представляет собой человеко-машинную систему, предназначенную для управления экономическими системами на основе экономико-математических методов, кибернетики и средств обработки данных (вычислительной техники, средств обработки, хранения и передачи информации).

Как нигде больше, единство математики, экономико-математических методов и ЭВМ проявляется в АСУ. Такая система не может функционировать без любого из этих элементов. С помощью кибернетики решаются проблемы обеспечения методического и методологического

¹ Материалы XXIV съезда КПСС. М., Политиздат, 1971, с. 67—68.

единства АСУ. Математика представляет собой совершенный инструментарий для решения задач АСУ, а вычислительная техника и средства обработки, передачи и хранения информации составляют ее материально-техническую базу.

Однако главное звено автоматизированной системы управления — человек. Все основные решения руководитель принимает на базе качественной и своевременной информации, которая представляется ему в процессе функционирования АСУ.

При функционировании АСУ решаются не только отдельные задачи, возникающие в тот или иной период деятельности объекта, но и выполняются систематические действия по управлению предприятием. В ВЦ АСУ сосредоточивается вся техника, которая позволяет собирать, перерабатывать, хранить, выдавать информацию обо всех протекающих процессах.

Электронная вычислительная техника автоматизирует выполнение этих операций, позволяет обрабатывать все данные с максимальной скоростью, недоступной человеческому мозгу. Как показали исследования, количество информации, приходящейся на одного работающего на современном предприятии, в 4—5 раз превышает способность к ее восприятию. Таким образом, при принятии отдельных решений человеком значительная часть информации им не учитывается. Эта «потеря» сказывается на качестве решений.

Руководитель предприятия в любой момент может получить из вычислительного центра самые свежие данные, «просмотреть» с помощью ЭВМ огромное количество вариантов решения определенной проблемы за минимальное время. На этой основе он может принять решение, которое позволит наиболее рационально организовать производственный процесс.

За счет применения современных методов управления и средств их реализации АСУ позволяют увеличить разнообразие управляющего блока, не привлекая дополнительного количества людей. Следовательно, благодаря внедрению таких систем становится возможным выполнить требования фундаментального закона кибернетики — закона необходимого разнообразия — и в то же время сэкономить ограниченные трудовые ресурсы. Эффективность АСУ проявляется также и в том, что некоторая

часть обратных связей здесь реализуется автоматически, без участия людей. Это позволяет исключить некоторые субъективные факторы из управления, что ведет к повышению надежности системы: управляющий блок — управляемый объект. Кроме того, оперативность, своеевременность и хорошее качество перерабатываемой и передаваемой на более высокие ступени иерархии управления информации способствуют улучшению качества работы всей суперсистемы. И наконец, АСУ позволяют во многих случаях находить оптимальное решение проблем планирования и руководства отдельными подсистемами народного хозяйства.

Основной принцип разработки АСУ — системный, комплексный подход к решению взаимосвязанного круга управленческих задач, которые охватывают все стороны хозяйственной деятельности предприятия, отрасли. Сюда входят, например, проблемы оперативного планирования, управления трудовыми ресурсами, финансами и т. д.

По уровню решения задач АСУ классифицируются следующим образом: на высшем народнохозяйственном уровне создаются автоматизированные системы плановых расчетов, межотраслевые системы управления материально-техническим снабжением, системы нормативов и т. д.; для решения отраслевых задач (средний уровень) создаются АСУ отраслями, объединениями, крупными фирмами, отдельными видами транспорта; на низшем уровне разрабатываются АСУ отдельными хозяйственными единицами и их структурными подразделениями. Кроме того, АСУ делятся по назначению (системы обработки данных, системы планирования, системы регистрации информации), по характеру функционирования (системы, работающие в реальном масштабе времени, системы с разделением времени) и т. д.

Сейчас в нашей стране успешно действует целый ряд автоматизированных систем управления предприятиями (АСУП). Например, на московском заводе «Фрезер» имени М. И. Калинина с помощью такой системы решаются 154 задачи оперативного планирования и технико-экономического анализа производства. Эта система уже окупила себя и в настоящее время приносит заводу ежегодную прибыль до 1 млн. руб.

На ленинградском заводе «Вибратор» создана типовая для многих предприятий приборостроительной промыш-

лённости АСУП. Она представляет собой комплекс взаимосвязанных задач обработки управленческой информации. В эту систему входят подсистемы технико-экономического планирования, оперативно-календарного планирования и учета, материально-технического обеспечения, бухгалтерского учета, нормативного хозяйства. В частности, предполагается, что с помощью данной системы будет рассчитываться оптимальная производственная годовая программа.

В состав технических средств АСУП «Вибратор» входят ЭЦВМ «Минск-22» и 4 счетно-перфорационных машины.

Затраты на внедрение АСУ обычно окупаются в течение 1—2 лет. Например, расходы, связанные с разработкой и вводом в эксплуатацию АСУ «Львов» на Львовском телевизионном заводе, были покрыты менее чем за 2 года.

АСУП позволяют получать огромный экономический эффект от их внедрения. Годовой эффект от внедрения АСУП на одном из аммиачных заводов составил 430 тыс. руб. При этом себестоимость производства одной тонны аммиака снизилась на 4%.

Количество внедренных автоматизированных систем управления предприятиями растет изо дня в день. Всего за восьмую пятилетку было введено 417 систем управления всех назначений. Предполагается, что к концу текущей пятилетки на каждом пятом промышленном предприятии будет действовать АСУ.

АСУ на отдельных предприятиях являются базой для создания автоматизированных систем управления объединениями и целыми отраслями. Уже действует, например, АСУ Министерства приборостроения и средств автоматизации СССР, которая представляет собой координирующий и управляющий центр целой отрасли. Подсчитано, что внедрение отраслевой АСУ обеспечивает увеличение объема производства в отрасли на 2—5%, при этом управленческий аппарат сокращается на 6—8%.

На повестке дня сейчас — создание общегосударственной автоматизированной системы сбора и обработки информации для учета, планирования и управления народным хозяйством (ОГАС). Такая система будет замыкать иерархию автоматизированных систем управления низших уровней.

Основные задачи ОГАС: анализ тенденций развития экономики в стране в целом, отдельных отраслей народного хозяйства, союзных республик и экономических районов страны; анализ проектов перспективных и текущих планов развития народного хозяйства СССР и его отраслей, союзных республик и экономических районов, планов материально-технического снабжения, капитального строительства, транспортных перевозок, финансово-кредитных планов, планов трудовых ресурсов и др. Предусматривается также, что ОГАС будет решать задачи разработки крупных общегосударственных программ, управления научно-техническим прогрессом. На базе ОГАС будут анализироваться результаты деятельности всех звеньев народного хозяйства, обеспечиваться их взаимодействие в процессе реализации государственных планов развития страны.

В ОГАС будут входить следующие функциональные звенья: автоматизированные системы плановых расчетов Госплана СССР и союзных республик; отраслевые АСУ; АСУ организаций, построенных по территориальному принципу (Государственный комитет Совета Министров СССР по материально-техническому снабжению, Государственный банк СССР и т. д.); АСУ союзных республик; автоматизированные системы ЦСУ, Государственный комитет цен и т. д.; АСУ научно-техническим прогрессом.

Предполагается создать Государственную сеть вычислительных центров, состоящих из взаимодействующих отраслевых, ведомственных, республиканских и территориальных вычислительных центров, которые будут связаны единой автоматизированной сетью связи.

Создание системы государственных вычислительных центров, на которых будет перерабатываться информация предприятий, отраслей и затем передаваться в единый планирующий орган для эффективного управления страной, — задача недалекого будущего. «Наше плановое хозяйство позволяет создать общегосударственную автоматизированную систему сбора и обработки информации для учета, планирования и управления народным хозяйством на базе государственной системы вычислительных центров и единой автоматической сети связи страны»¹.

¹ Материалы XXIV съезда КПСС. М., Политиздат, 1971, с. 174.

ЛИТЕРАТУРА

- Акоф Р., Сасиени М. Основы исследования операций. Пер. с англ. М., «Мир», 1971.
- Автоматизированные системы управления (теория и методология). М., «Мысль», 1972.
- Бир С. Кибернетика и управление производством. Пер. с англ. М., «Наука», 1965.
- Винер Н. Кибернетика. Пер. с англ. М., «Советское радио», 1958.
- Гасс С. Линейное программирование. Пер. с англ. М., Изд-во иностр. лит., 1960.
- Гейл Д. Теория линейных экономических моделей. Пер. с англ. М., Изд-во иностр. лит., 1963.
- Карлин С. Математические методы в теории игр, программировании и экономике. Пер. с англ. М., «Мир», 1964.
- Ланге О. Оптимальные решения. Пер. с польск. М., «Прогресс», 1967.
- Тинтер Г. Введение в эконометрию. Пер. с нем. М., «Статистика», 1965.
- Электронные цифровые машины и программирование. М., «Физматгиз», 1961.
- Эшби У. Р. Введение в кибернетику. Пер. с англ. М., Изд-во иностр. лит., 1959.

СОДЕРЖАНИЕ

Количественные методы в экономике	5
Применение математики в экономике: специфика, трудности, перспективы	5
Развитие экономики и появление новых отраслей математических знаний	9
Кибернетика — наука об управлении и связи	40
Возникновение кибернетики	40
Основа управления — информация	42
Обратная связь — фундаментальный принцип управления	46
Сложная система — объект исследования кибернетики	50
Управление сложными кибернетическими системами	56
Автоматизированные системы управления (АСУ)	65
Электронные вычислительные машины — техническая база АСУ	65
Автоматизация процессов управления	72

Столяров Игорь Анатольевич.
С81 Математика и кибернетика в управлении.
 М., «Экономика», 1973.
 79 с. (Б-чка хоз. руководителя.)

В настоящей брошюре в популярной форме излагаются современные математические и кибернетические методы управления экономикой, рассматриваются вопросы применения вычислительной техники в рамках автоматизированных систем управления.

C 0183-3
 011(01)-73 73-73

330

Редактор *Т. М. Граховская*
Младший редактор *Н. В. Амаева*
Технический редактор *М. М. Матвеева*
Художественный редактор *А. Н. Михайлов*
Корректор *Н. Ф. Отмахова*

Сдано в набор 24/I 1973 г. Подп. в печать 9/IV 1973 г. А01045. Формат
84×108¹/₂. Печ. л. 4,2. Учетно-изд. л. 4,04. изд. № 3174. Тираж
45 000 экз. Цена 20 коп. Зак. № 65. Бумага № 2. Т. П. изд. «Экономика» 1973 г. № 73

Ярославский полиграфкомбинат «Союзполиграфпрома» при Государственном комитете Совета Министров СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли. Ярославль, ул. Свободы, 97.

20 коп.

