



Н. М. АМОСОВ

**МОДЕЛИРОВАНИЕ
СЛОЖНЫХ СИСТЕМ**

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ ЛИТЕРАТУРА

Н. М. АМОСОВ

**МОДЕЛИРОВАНИЕ
СЛОЖНЫХ СИСТЕМ**

«НАУКОВА ДУМКА» КИЕВ — 1968

В брошюре изложены взгляды автора на структуру, функцию и эволюцию сложных систем «типа живых» от клетки до общества. Процессы познания представлены как моделирование и показаны современные возможности создания «действующих» моделей сложных систем на базе вычислительных машин. Сделаны предположения об использовании этих моделей для усовершенствования управления в медицине, психологии, экономике.

Брошюра написана популярно и рассчитана на широкий круг читателей, в первую очередь на тех, кто интересуется вопросами биокибернетики.

6П2 · 15
А62

3—3—14
316—68М

НЕКОТОРЫЕ ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ КИБЕРНЕТИКИ

Есть несколько трудных проблем, мешающих людям быть счастливыми: болезни, воспитание детей, социальные отношения. Причина одна: неумение управлять сложными системами — организмом, психикой. Нельзя сказать, что люди совсем не научились этому — врачи лечат, педагоги воспитывают, общество в целом прогрессирует. Успехи велики, но задачи еще больше, так как пока излечиваются только сравнительно простые недуги, к. п. д. воспитания оставляет желать лучшего, а войны по-прежнему не исключены из жизни человечества.

Чтобы управлять, нужно знать. Примеры легко привести из области техники. Полнота управления машинами состоит в возможности создавать их заново. Совсем не так обстоит дело со сложными системами — о них нет точных знаний. Медики спорят о том, что лежит в основе болезней — нарушения нервной или эндокринной системы, вирусы или наследственность. Педагогика в основе остается чисто эмпирической наукой, поскольку не уточнен еще целый ряд вопросов о сущности сознания и мышления.

Почему так получилось?

Видимо, дело в несоответствии *сложности* этих систем и познавательных возможностей человека. Сейчас представляется, что техника может расширить эти возможности с помощью машин — искусственных моделирующих установок. В настоящей брошюре я попытаюсь обсудить некоторые подходы к новой проблеме. Разумеется, круг затрагиваемых вопросов слишком широк, и мне, вероятно, не удалось избежать ошибок, тем более, что я стремился изложить все коротко и просто.

Всякая система представляет собой некоторое количество разнородных либо одинаковых элементов, объединенных связями таким образом, что обеспечивается целостная функция. Сложная система отличается от простой количеством элементов и разнообразием их отношений, вместе определяющих сложную функцию. Все эти понятия условны. Видимо, стоит к сложным системам относить только такие, точную структуру которых пока нельзя себе представить. Практически — это системы «типа живых».

Полагают, что системы построены из неких простых частей — элементов. Однако это понятие тоже условно, и элементы сложных систем сами представляют собой большую сложность. Все дело в том, что понятие «элемент системы» появляется при попытках ее моделирования, схематизации. Элемент организма — клетка, элемент общества — человек. Истинных конечных элементов пока не знает даже физика. Предполагается, что при создании модели сложной системы внутренняя система элемента уже не рассматривается.

При изучении как системы, так и элементов важны понятия структуры и функции. Первое интуитивно связывается с некоторой материальной конструкцией, второе — с изменением энергии. Получается параллель: «материал — энергия» — «структура — функ-

ция». В действительности все выглядит сложнее. Функция сложной системы — это не только сообщение энергии каким-то внешним предметам, но и передача некоторых материальных структур. Примеры. Функция нейрона — нервный импульс. Это не только изменение электрического потенциала (то есть энергии), но и движение ионов, материальных частиц. Одна из функций человека — его трудовая деятельность, которая сводится к сообщению механической энергии внешним предметам. Однако в результате появляются вещи — структурные единицы. Если взять еще более сложную систему — предприятие, то его функция выражается главным образом в вещах. Таким образом, функция сложной системы — условное понятие, возникающее в процессе ее схематизации, моделирования, включающее изменение во времени и пространстве как материальной структуры, так и энергии.

Функция системы осуществляется по программе, представляющей собой определенную последовательность изменений во времени, которая заложена в самой структуре системы и реализуется при определенных внешних воздействиях. Функция — это деятельность. Программа — порядок, последовательность функциональных актов. Например, для человека — последовательность движений в труде, для рефлекса — прохождение импульсов по звеньям рефлекторной дуги.

Воздействие — это получение системой извне или сообщение вовне энергии, а также иногда и материальных частиц. Оно имеет определенные параметры — вид энергии, величину, скорость изменения, точку приложения и т. д. При взаимоотношениях сложных систем воздействие — это функция данной системы или восприятие функции другой системы. Связь — возможность получать и передавать воздействие. Она мо-

жет быть представлена материальной структурой, имеющей свою функцию и преобразующей энергию в процессе передачи с одной системы на другую. Связи в нервной системе осуществляются с помощью нервных импульсов, циркулирующих по волокнам. Людей связывают речь и вещи.

Понятие «структура» обычно относится только к системе, а элемент ее представляется как «черный ящик», который, однако, обладает функцией, изменяющейся по определенной программе, то есть оказывает воздействие на другие элементы по некоторым линиям связей. Программа деятельности целой системы складывается из элементарных программ ее элементов и групп из них — подсистем.

Не следует думать, что внутри сложных систем царит полная гармония: программы отдельных ее частей зачастую противоречат друг другу. Сложные системы «типа живых» создавались постепенно — как результат случайных столкновений и взаимодействия более простых систем, имеющих собственные программы. Развитие сложной системы, рост и усложнение ее структур, изменение функции идут через противоречивые изменения ее элементов и подсистем.

На первый взгляд кажется, что деятельность сложных систем подчиняется только тем же законам физики и химии, что и простых. Система получает извне комплекс физических воздействий — материальные частицы и энергию, внутри нее происходит сложный процесс движения их между элементами, и в результате система выдает вовне материальные частицы и энергию. Конечно, так оно и есть, однако этого недостаточно для понимания деятельности сложных систем. Кроме законов физики и химии, нужно еще привлечь и законы переработки информации. Деятельность сложной системы

определяется не только самими физическими воздействиями, но и «сведениями» о них. Когда один человек подчиняется словесному приказу другого, то его сложная ответная мышечная деятельность (вплоть до самоуничтожения) включается не самими физическими колебаниями воздуха, а только их последовательностью, которая сама по себе не имеет физической природы, хотя ее выделение и немыслимо без физических процессов. Вся деятельность сложных систем определяется переработкой информации в большей мере, чем превращением материи и энергии. Принципиально возможно сохранить программу деятельности сложной системы, заменив одни физические процессы, с помощью которых она реализуется, другими. Например, жизнь — это набор сложных программ, присущих системам, построенным главным образом из белков. Однако вполне мыслимо создание сложнейших искусственных технических систем, которые будут обладать теми же программами: движения, роста, раздражимости, приспособления.

И н ф о р м а ц и я — это сведения о системе, о ее структуре и функции, выраженные моделью. С другой стороны, **м о д е л ь** — это система со своей структурой и функцией, отражающая структуру и функцию системы-оригинала. Модель всегда является упрощением оригинала и обычно тем или иным искажением его. Она может быть составлена из элементов сложной моделирующей установки (мозга или ЭВМ) либо представлять собой самостоятельную физическую систему — вещь.

Модель отражает структуру и функцию системы-оригинала средствами структуры или функции тех элементов, из которых она строится. Возможны различные отношения:

1. Структурная модель отражает структуру системы. Пример: рисунок или фотография.

2. Функциональная модель отражает структуру. Примеры: возбуждение нейронов сетчатки глаза или свечение экрана телевизора, воспроизводящие структуру объекта, который мы видим.

3. Структура отражает функцию. Пример: электрокардиограмма на пленке, отображающая одну из частных функций сердца — изменение потенциала.

4. Функция отражает функцию. Скажем, та же электрокардиограмма на экране осциллографа. В двух последних примерах осциллограф является моделирующей установкой.

5. Структура модели отражает структуру и функцию оригинала. Пример: словесное (письменное) описание системы.

Возможны и более полные модели, одновременно отражающие структуру и функцию. Прежде всего это относится к физическим моделям (к примеру, модель сердца). Однако они могут быть представлены и элементами моделирующих установок. Пример — «действующая» модель системы в виде программы ЭВМ, в которой отражены схема системы и изменение функции ее элементов при различных внешних воздействиях. Подобную же модель можно представить средствами кинематографии.

Понятие память имеет два значения: с одной стороны, это способность запоминать как свойство моделирующей установки, а с другой — это сами модели, отражение в моделирующей установке внешнего воздействия, которое представлено структурой или функцией объекта. Условно можно выделить два типа памяти:

1. Кратковременную (или функциональную), когда объект запечатлевается в моделирующей установке по-

средством повышенной функции некоторой системы элементов. Пример: возбуждение нейронов сетчатки глаза или свечение участков экрана телевизора, быстро исче-

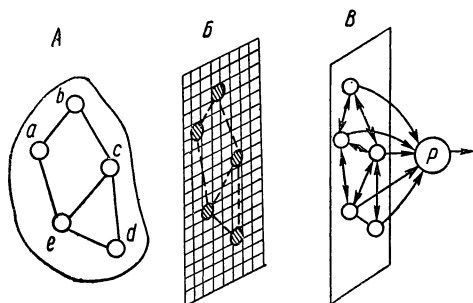


Рис. 1. Два типа памяти.

A — объект; *B* — кратковременная память, выраженная временным возбуждением отдельных пунктов сети; *B* — длительная память, выраженная в структуре связей; *P* — один элемент, представляющий всю модель.

зающее после прекращения воздействия, поступающего извне.

2. Длительную память, когда информация запечатлевается в структуре элементов или в связях между ними. Это относится к моделям из нейронов в мозгу и к программе вычислительной машины, в которой запечатлена модель в виде схемы связей и функции элементов (рис. 1).

Можно себе представить и другие виды памяти с еще более стойкими моделями, являющимися результатом «считывания» и физического воплощения корковых моделей (например, тексты и рисунки).

Каждая сложная система, обладающая способностью

моделировать внешний мир, имеет свои типы моделей и свою систему их запоминания. К примеру, клетка моделирует информацию структурой ДНК и РНК, причем последние, видимо, выполняют роль временной памяти. Общество, как система, имеет свои коды для выражения информации, для моделирования — книги, вещи.

Как уже говорилось, в сложных системах законы информации действуют наряду с физическими. Они охватывают выделение, хранение, переработку и сообщение информации другим системам. Это означает, что сложные системы имеют структуру и программы, обеспечивающие моделирование внешних (и внутренних) воздействий и действия с моделями. Рассмотрим кратко эти законы.

Выделение информации предусматривает прежде всего рецепцию, то есть восприятие физического воздействия, которое несет информацию, и кодирование его своим кодом. Иначе — выделение первой модели обычно функционального типа. Рецептор воспринимает «порцию» энергии, накапливает ее, «запоминает» в виде функциональной модели, сравнивает последнюю с постоянной моделью и при совпадении выдает некоторую свою функцию, например в виде нервного импульса или э. д. с. датчика. После этого все повторяется сначала. Например, на каждые десять квантов света, падающих на одно чувствительное окончание на дне глаза, оно отвечает одним нервным импульсом.

Характер перекодирования определяется программой деятельности рецептора, его рабочей характеристикой. Обычно это выражается в следующем: а) рецептор (или датчик) воспринимает только один вид энергии: тепло, свет, звуковые колебания; б) пространство, в котором воспринимается энергия, ограничено размерами рецептора; в) также ограничены пределы воспринимае-

мой энергии; г) имеется количественная зависимость между выходными сигналами рецептора и количеством падающей на него энергии, обычно она нелинейная; д) существует инерционность, то есть зависимость характеристики от предшествовавшей функции, — адаптация, привыкание. Все эти качества можно продемонстрировать на любом рецепторе или датчике.

Возможны самые различные характеристики рецепторов, когда выходной сигнал соответствует не только сумме энергии, поступившей за некоторый промежуток времени, но и разности с каким-то порогом, производной от изменения во времени и пр.

Многообразие внешнего мира улавливается организмом с помощью очень большого количества рецепторов, реагирующих на разные виды энергии при разнообразном их пространственном распределении. Возможное количество выделяемой первичной информации можно условно определить как суммарное количество сигналов, поступающих со всех рецепторов в единицу времени. Для такой системы, как человек, оно огромно, так как число рецепторных клеток у него исчисляется миллиардами.

Переработка информации заключается в превращении одних моделей в другие. Поскольку информация передается в виде сигналов, то ее можно воспринять как физическое воздействие и выделить из него новую информацию, то есть создать новую модель. Как и всякая иная, эта модель из информации («модель модели») будет упрощением и искажением первичной модели, но зато представит еще более общее содержание внешнего воздействия, чем первичная модель.

Принцип (закон) переработки информации такой же, как и ее выделения из физического воздействия. Он заключается в восприятии информации, запоминании ее

в виде временной модели, сравнении с некоторой моделью — эталоном из постоянной памяти и в выдаче сигнала, соответствующего новой, обобщенной модели.

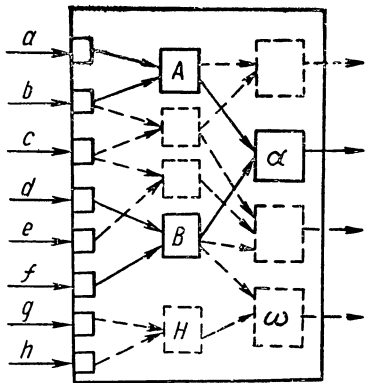


Рис. 2. Схема моделирующей установки с этажными моделями для пространственной суммации.

Процесс этот можно назвать терминами «узнавание», «этажная переработка информации», «этажные модели». Он осуществляется в разных вариантах. Проще всего это показать на примере нейроноподобных сетей:

1. Пространственная суммация. В этом случае «узнается» определенное пространственное расположение возбужденных рецепторов, так что в результате взамен целой картины возбуждается одна модель, в которой представлено все содержание картины.

Предположим, что существует некоторая моделирующая установка с набором этажных моделей и связей между ними (рис. 2). На первом этапе есть сеть рецепторов $a \dots h$. Условно их можно назвать первичным «алфавитом». Предположим для простоты, что каждая первичная модель (рецептор) может быть только в двух состояниях — активности (функции) 1 и покоя 0. На втором этапе располагаются модели обобщенного алфавита $A \dots H$, каждая «буква» (модель) которого имеет связь с определенными моделями на первом этапе.

Затем следуют еще более обобщенные модели $\alpha \dots \omega$ —это алфавит третьего этажа. Если в данный момент возбуждаются извне рецепторы a, b, d, f , иначе говоря, приходят в активное состояние и отражают во временной памяти некий первичный образ, то энергия возбуждения переходит по связям во второй этаж и возбуждает две его модели A и B , которым далее соответствует модель α на третьем этаже. В ней одной представлена обобщенная модель всего образа.

В этом примере сравнение осуществляется за счет постоянной «памяти связей», за счет структуры из связей. Разумеется, возможен и другой принцип сравнения, например перебор таблиц-матриц, составленных для перекодирования с одного алфавита на другой. В таком случае постоянная память отражена в структуре матриц. Их можно заложить в память машины.

2. Временная суммация. При этом «узнаются» не пространственные образы, а последовательность изменения возбуждения рецепторов во времени. Если выше мы говорили об этажных алфавитах, понимая под ними системы моделей, обобщающих определенное пространственное расположение возбужденных рецепторов ($a \dots h, A \dots H, \alpha \dots \omega$), то теперь можно говорить об этажных «словах», понимая под этим последовательность возбуждения моделей во времени. Поясним это на примере (рис. 3).

Предположим, что моделирующая система имеет один рецептор P , который может быть в двух состояниях — буквы 1 или 0 (возбуждение и покой). Кроме того, есть «часы» t , отсчитывающие «порции» времени. Временная память рецептора равна одной «порции». На втором этаже расположены модели, в которых суммируются слова, состоящие из трех первичных букв. На рисунке показаны три модели — I, II, III , которые

узнают различную последовательность первичных букв. Суть узнавания состоит в том, что каждая из этих моделей накапливает во временной памяти по три буквы, затем сравнивает их внутри модели с эталоном и в

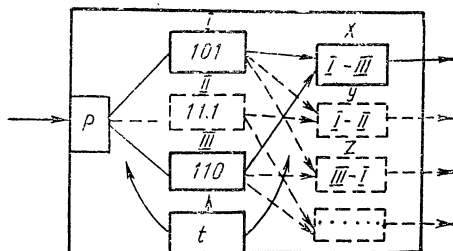


Рис. 3. Схема моделей для временной суммации.

случае совпадения выдает сигнал возбуждения. Ее активность длится три такта времени и передается по связям на модели слов третьего этажа x , y , z , в которых отражена последовательность возбуждения моделей второго этажа по две. На рисунке показано, что возбуждена модель x , а это означает первичное слово 101 110.

Разумеется, временная суммация или, точнее, временное узнавание, узнавание слов, может осуществляться не только по одной букве, но и по многим рецепторам. Из каждого этажного алфавита пространственного узнавания можно составить слова — последовательность следования образов во времени. Так это в действительности и делает человек. Узнавание слов можно осуществить также с помощью матриц — перекодировочных

таблиц, в которых запечатлена последовательность букв соответствующего алфавита.

Я назвал очень простые примеры, в которых ограничено число рецепторов и этажей, «сила» возбуждения выражена только в состояниях 0 и 1, нет скорости и длительности воздействия, а есть только последовательность следования букв. Показанные примеры соответствуют наиболее простым жестко запрограммированным «автоматам с памятью», которые легко воспроизвести техническими средствами. В реальных живых системах все обстоит гораздо сложнее. Огромно число рецепторов, каждый из которых имеет сложные характеристики с градуальным возбуждением в зависимости от интенсивности изменяющегося во времени воздействия. Поэтому хотя принцип переработки информации сохраняется (с выделением этажных моделей алфавитов и слов, временной памятью, выраженной их активным состоянием, и постоянной, находящей отражение в связях между моделями), но имеют место значительные усложнения. В частности:

1. Сравнение временной и постоянной моделей осуществляется не по тождественному, а по вероятностному принципу. Это значит, что одной модели на высшем этаже соответствует не один, а множество сходных наборов букв или слов на низшем. Степень жесткости может изменяться от 0 до 1. При этом исчезает определенность в перекодировании, и обратный процесс точного восстановления первичной информации по высшим этажам становится невозможным.

2. Сами модели-эталоны постоянной памяти, то есть связи в сети, или места в таблице-матрице, не строго постоянны и определены, а изменяются со временем и в зависимости от состояния системы — в этом отражается субъективность переработки информации.

3. «Сила» возбуждения моделей, их функция изменяется в больших пределах, и это является дополнительным фактором в переработке информации, так же как и «скорость» изменения. В связи с этим существуют специальные модели, отражающие «качества» в противоположность «смыслу». Главной из них является определение «силы» внешнего воздействия и его «скорости». Они возбуждаются параллельно с основными, смысловыми моделями и содержат дополнительную информацию. Иногда последняя играет большую роль: припомним, насколько по-разному воспринимается смысл произносимых фраз в зависимости от интонации, темпа речи, громкости голоса и т. д.

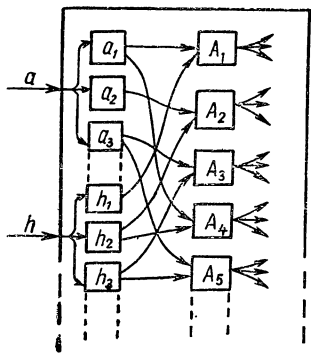


Рис. 4. Схема выделения пространственных моделей с учетом «силы» возбуждения первичных моделей $a \dots h$.

Элементы «силы» и «скорости» можно перевести и на язык простых автоматов, примеры которых показаны.

Их можно отразить в структуре, превратив непрерывные величины в дискретные. Для этого, например, достаточно в показанной на рис. 2 схеме каждый рецепторный нейрон a заменить несколькими — $a_1, a_2, a_3 \dots$, которые включаются в зависимости от силы внешнего воздействия (рис. 4). То же самое можно проделать и с моделью второго этажа A — заменить одну букву этажного алфавита несколькими — $A_1, A_2, A_3 \dots$. Так же можно поступить при выделении слов (см. рис. 3): в зависимости от длины интервалов времени между

Их можно отразить в структуре, превратив непрерывные величины в дискретные. Для этого, например, достаточно в показанной на рис. 2 схеме каждый рецепторный нейрон a заменить несколькими — $a_1, a_2, a_3 \dots$, которые включаются в зависимости от силы внешнего воздействия (рис. 4). То же самое можно проделать и с моделью второго этажа A — заменить одну букву этажного алфавита несколькими — $A_1, A_2, A_3 \dots$. Так же можно поступить при выделении слов (см. рис. 3): в зависимости от длины интервалов времени между

1—0—1 ... можно переписать 11—00—11, и тогда число слов резко возрастет. При таком усложнении структуры все модели будут иметь только два значения функции — 0 и 1, но число моделей будет очень велико, если понадобится отразить и осмыслить разнообразие внешнего мира. В последующих главах это показано подробнее на примере моделей мозга. Значение интенсивности, «силы» возбуждения (функции) этажных моделей слов и букв очень велико, так как через них осуществляются сложные процессы взаимоотношений между одновременно возбужденными моделями. К примеру (см. рис. 2), если есть первичный набор букв a, b, c, d, e, f, \dots , то от них могут возбуждаться («распознаться») одновременно A, B на втором этаже, α — на третьем. Для целесообразного действия системы следует выделить один из этих наборов, а прочие подавить. Для этого нужна особая система.

В общем суть процессов переработки информации состоит в возбуждении активности этажных моделей букв, слов и качеств. Вместе взятое, это отражает понимание смысла, то есть выделение содержания из воздействий окружающего мира. Можно отметить несколько закономерностей, характеризующих этажную обработку информации:

1. Чем выше этаж модели, тем больший круг событий она осмысливает. Например, на рис. 2 модель A соответствует возбуждению только двух рецепторов — a и b , в то же время модель α на третьем этаже — четырем рецепторам.

2. Чем выше этаж, тем большее число возможных моделей он содержит. Так, при жестком перекодировании на схеме, показанной на рис. 2, алфавит второго этажа $A \dots H$ может содержать очень много букв, а алфавит третьего этажа $\alpha \dots \omega$ — еще больше.

3. Поскольку характер этажного перекодирования вероятностный, потери информации возрастают по мере повышения этажа модели и уменьшения жесткости перекодирования.

4. По этой же причине по модели высшего этажа нельзя точно воспроизвести первичную информацию. Дополнительные модели качеств помогают частично восстановить потери. Например, если одна буква третьего этажа будет соответствовать пяти сходным вариантам наборов букв на втором этаже, то по ней уже нельзя узнать, какой из них был возбужден первично.

5. Из одной и той же первичной информации можно выделить много систем высших моделей (алфавитов и словарей), применяя различные эталоны и способы сравнения. Системы моделей отражают субъективность моделирующей системы.

6. Наибольшая полнота сведений об объекте при приблизительном перекодировании достигается при наличии моделей низших и высших этажей. Тогда мы имеем «первичную картину» и отдельно ее различные «смыслы».

7. Этажная и вероятностная переработка информации — единственно возможный путь для познания сложных систем, так как она требует меньшего объема памяти и облегчает поиск нужных сведений. Просто невозможно представить себе, каким должен был бы быть объем памяти человека, если бы он запоминал все в подробностях, а не в виде кратких смысловых и качественных моделей.

Хранение информации — это память. Как уже говорилось, каждая система имеет свой код моделей.

Сообщение информации, выдача ее вовне осуществляются у человека и животных через движения, с помощью которых производится передача механической

энергии в окружающее пространство для соответствующего воздействия. Возможны и иные физические средства, например выделение химических веществ. У человека рабочим органом является эффектор, трансформирующий химическую энергию в механическую. Происходит процесс, обратный восприятию и переработке информации: этажные модели двигательных актов управляют энергией сокращения мышц. Более всего здесь подходит слово «программа». Программы эти весьма разнообразны, и я не буду пока их описывать. Самый главный принцип заключается в этажности: возбуждение модели верхнего этажа распространяется на нижние. Оно «размножается» по нескольким каналам на низший, что представляет собой процесс, обратный пространственной суммации при выделении этажных моделей, или распределяется во времени, создавая определенную последовательность сокращения мышц. Простейшие схемы этого явления показаны на рис. 5. В первом случае происходит одновременное сокращение всех мышц $\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2, \mathcal{E}_3$. Во втором случае высший этаж только включает модель последовательного возбуждения частных моделей низшего, так что в результате получается сложная картина сокращений отдельных мышц во времени: \mathcal{E}_1 , затем \mathcal{E}_2 , далее \mathcal{E}_3 . «Нисходящее

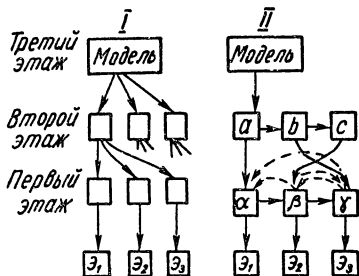


Рис. 5. Схемы этажных моделей действий.

I — при одновременном сокращении мышц \mathcal{E} ; *II* — для последовательного возбуждения отдельных мышц в разном порядке, заложенном в модели на высших этажах. Для *a* порядок α, β, γ , для *b* — γ, β, α , для *c* — β, γ, α .

перекодирование» осуществляется также по вероятностному принципу, то есть каждой модели верхнего этажа соответствует несколько вариантов на низшем.

РАЗВИТИЕ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Чем разнятся сложные системы, скажем, вирус и общество? На этот вопрос можно ответить так: разница заключается в объеме перерабатываемой информации, в программах ее переработки, в моделях-кодах, в физических средствах моделирования, в степени абстрагирования — этажах.

Однако все эти системы объединяет одно качество — они *живут*. Это означает, что они получают извне материю и энергию, перерабатывают ее в собственные структуры и за счет этого двигаются, размножаются и т. д. У них есть основные программы жизни: обмен веществ, размножение, рост, движение, приспособляемость, изменчивость. Последние два качества обеспечивают выживаемость особи и вида.

Программа системы — это порядок действий, в результате которых система переходит из одного состояния в другое. В живых системах эти программы отработаны в процессе естественного отбора таким образом, чтобы в конечном итоге обеспечить сохранение вида, поэтому они имеют видимость целесообразных. (Те виды, у которых эти программы были недостаточно совершенны, исчезли). Программы живых существ можно разделить на несколько типов в зависимости от целей, которые они обеспечивают: «для себя», «для рода», «для вида». Эти программы действуют не всегда гармонично, в различные периоды жизни особи превалируют те или иные из них. Кроме того, каждая часть (эле-

мент) сложной системы в свою очередь имеет свои программы, которые в принципе можно типизировать по таким же критериям: для данной части (например, клетки), для более высшей системы — органа, для еще более высшей — организма. Собственные программы могут быть подавлены в интересах более высшей системы. Такое положение существует, например, в организме: клеточные программы имеют разный характер, часть из них работает «на себя», прочие — для организма. Регулирующие системы организма, к примеру, подавляют размножение клеток, к которому стремится каждая живая система. Такое же положение и в обществе: человек имеет собственные программы как индивидуум, программы, служащие для продолжения рода (семьи), и, наконец, программы, которые навязывает ему общество, как более высшая система. Множественность и противоречивость общих и частных программ необходимо вскрыть не только в качественном, но и в количественном выражении, если поставлена задача изучения системы.

Самая общая схема сложной системы показана на рис. 6. Система состоит из трех основных подсистем: *А* — подсистема, воспринимающая внешний мир и перерабатывающая внешнюю информацию («познание»); *Б* — подсистема, воздействующая на внешний мир («действия»); *В* — внутренняя сфера, носитель собственных программ системы, ее «тело» со своими органами управления и переработки информации («чувства»). Каждая подсистема имеет свои программы. Все они взаимодействуют друг с другом, обеспечивая жизнь системы с ее целостными программами. Наличие их можно проследить во всех сложных системах.

Первой ступенью сложности систем являются одноклеточные существа, например микроорганиз-

мы. Их структура состоит из молекул сложных органических соединений, а внешняя функция представлена программами размножения и химических воздействий на окружающую среду. Возможности приспособления ограничены, поскольку узки программы переработки информации. Выживаемость вида поддерживается огромной скоростью размножения и очень активной изменчивостью, результаты которой реализуются через широкий естественный отбор. Структуру системы можно условно представить в виде трех этажей (рис. 7). На первом осуществляются рабочие реакции различных химических и физико-химических пре-

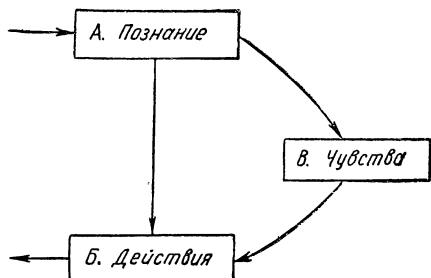


Рис. 6. Общая схема сложной системы с ее основными подсистемами.

А — модели внешнего мира; Б — модели действий, направленных вовне; В — модели внутренней среды, выраженные в «чувствах».

вращений, обеспечивающих систему энергией. Они осуществляют реакции питания и защиты в виде захватывания и «переваривания» молекул, служащих «пищей», выделения химически активных веществ и элементарного передвижения в пространстве (у немногих). Рабочие реакции — это химия, управляемая ферментами. Второй этаж, представленный специальными элементами из РНК, является уже информационным, так как в нем сосредоточен синтез структур, белков и ферментов в зависимости от программ, управляющих «свыше», и от внешних воздействий, улавливаемых рабочими элементами. Третий этаж содержит генетическую информацию

в виде ДНК, в которой химической структурой зашифрованы программы размножения и управления процессами роста. Это — длительная память системы, обобщенная модель ее программ. Второй этаж, видимо, выражает кратковременную память — в виде концентрации РНК, а может быть, и ферментов. Количество перерабатываемой информации относительно невелико, так как узки круг и диапазон воспринимаемых воздействий, непродолжителен цикл размножения, ограничено разнообразие химических превращений. Правда, с позиций наших представлений о технических системах сложность описываемой системы весьма значительна. «Память вида», как более сложной системы, заключена в ДНК генов. Она изменчива в силу присущих всему живому мутаций, а может быть, и за счет непосредственного обратного воздействия «снизу», от рабочего этажа и через него — от внешней среды. Механизмы клеточной памяти в виде создания структур из молекул ДНК и РНК, изменяющих поведение клетки при некоторых пределах изменения внешней среды, являются основой для понимания переработки информации в сложных организмах.

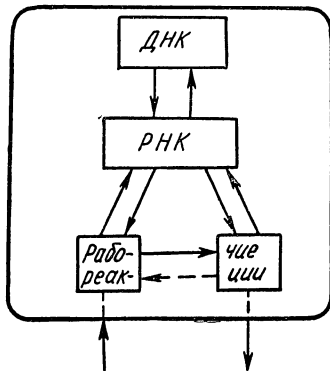


Рис. 7. Условная схема одноклеточного организма.

На первом этаже — рабочие реакции, на втором, информационном — синтез белков и ферментов с помощью РНК, на третьем — образование РНК для второго этажа по моделям наследуемой информации.

Следующей ступенью можно считать многокле-

точный организм с развитыми нервной и эндокринной регулирующими системами, но еще без коры головного мозга (рис. 8). Как показано, сохраняется тот же общий план системы, но каждая ее часть представлена уже не структурами из молекул, а структура-

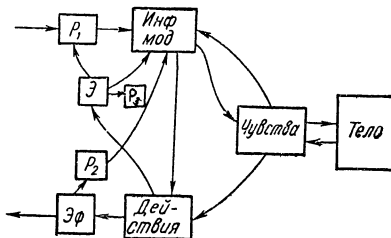


Рис. 8. Схема многоклеточного бескоркового организма.

P_1 — внешние рецепторы; *Инф. мод.*— врожденные модели внешнего мира; \mathcal{E} — мышцы; $\mathcal{Эф}$ — мышцы-эффекторы; P_2 — рецепторы, воспринимающие положение мышц; P_3 — рецепторы, воспринимающие положение мышц, которые настраивают главный рецептор (например, глаз); *Действия*— врожденные модели двигательных актов; *Тело*— внутренние органы; *Чувства*— модели, регулирующие внутренние органы.

ми из специализированных клеток, в которых в процессе эволюции совершенствовались одни элементы и функции в ущерб другим. Так, нервные клетки составляют аппарат переработки и хранения информации, другие выполняют различные рабочие функции, нужные для реализации программ «для себя», «для рода». У высших животных эти программы в общем виде представлены инстинктами, состоящими из набора разнообразных рефлекторных актов.

Программы такой системы сводятся к следующему. Рецепторы P воспринимают и кодируют нервными импульсами различные виды энергии в определенном пространстве, ориентированном в отношении тела. При этом каждый воспринимает только небольшую часть внешнего мира. «Картины» его сменяются в памяти рецепторов очень быстро. Некоторым усложнением является настройка рецепторов, которая изменяет оси их пространственных координат в отношении тела, а также (для зрения) может определять расстояние. Рецептор вместе с настройкой определяет локализацию раздражителей в пространстве или ориентирует внешний мир в отношении организма. В информационной части *Инф. мод.* производится переработка информации, уже кодированной нервными импульсами. Суть ее состоит в распознавании образов по этажному принципу — в виде этажных алфавитов, а при изменении их в пространстве и времени — в виде слов. На этой стадии эволюции все модели и связи уже являются врожденными, и в течение жизни они лишь подвергаются той или иной тренировке: улучшается проходимость связей и усиливается активность моделей. Распознавание осуществляется по вероятностному принципу — по приблизительному «наложению» модели из временной памяти первого этажа, которая отражает поступающий от рецепторов образ, на модели из постоянной памяти в следующих этажах. Важнейшей особенностью является возбуждение большого количества моделей букв разных этажей (алфавитов) или слов из различных словарей, получаемое из общей первичной картины. Например, первичный набор букв «аблумгонуви́ро». Для «аб» — первая модель второго этажа, для «лумго» — вторая, для «ну» — третья и т. д. На третьем этаже соответственно возбуждаются модели «аблумго», «нуви́ро», на четвертом — модель,

соответствующая всему набору букв — пространственному образу. При условии приблизительного сравнения число этих этажных моделей может быть гораздо большим. Еще больше возможностей для возбуждения моделей слов — при изменении первичного набора букв во времени.

С первого взгляда может показаться, что возникает хаос моделей, так как одновременно возбуждаются модели части и целого, а также качеств. Если это не происходит, то только за счет механизмов доминирования. Одни модели «сильные», легко и активно возбуждаемые (легко распознаются), прочие — «слабые». Возбуждение сильных подавляет, тормозит слабые, и в результате при восприятии картины возбуждается одна либо несколько не противоречащих друг другу моделей. Усиление одних моделей определяется прошлой тренировкой и воздействиями из сферы чувств, в которой находятся модели, отражающие потребности тела и нужные для реализации программ инстинктов. Животное видит все, но узнает главным образом то, что его больше всего беспокоит или интересует. При этом еще происходит искажение за счет приблизительности узнавания — одни матрицы перекрывают другие.

Разумеется, наша память не в состоянии хранить такой набор моделей, чтобы узнавать каждую из возможных картин внешнего мира целиком, так как их разнообразие бесконечно. Поэтому сложная картина воспринимается последовательно, переключением настройки рецептора с одной ее части на другую. Каждый раз возбуждаются соответствующие частные модели — элементы, они объединяются друг с другом в пространственное слово, в котором последовательность определяется порядком «осмотра» частей картины с помощью переключения настройки. Этот порядок временно закрепля-

ется проходимость связей между частными моделями в общей сети.

Пример. Внешний мир представлен набором букв «рапоникувысилюде». Даже в самом высшем этаже сети нет модели, хотя бы приблизительно соответствующей такому набору. Кроме того, его нельзя сразу воспринять, так как не хватает рецепторов. При последовательном осмотре были распознаны отдельные «блоки» картины: «рапо» = А, «нику» = Д, «выси» = Р, «люде» = Г. В результате получилось слово, отражающее последовательность рассмотрения и узнавания частей картины «АДРГ». В пределах временной функциональной памяти за счет связей между этими буквами данное слово будет некоторое время существовать как целостная картина, а потом забудется, и каждая буква продолжит свое самостоятельное существование в отдельности.

Изменение картины во времени воспринимается как последовательное возбуждение моделей отдельных кадров, которые потом узнаются в определенном слове. Причем, для того чтобы прочесть (распознать) все слово, необязательно увидеть его окончание — это можно сделать по первым слогам, если все слово много раз повторялось и уже запечатлено в постоянной памяти. На этом основано предвидение, которое, видимо, доступно в элементарных проявлениях уже низшим животным. По первым слогам возбуждается все слово (модель), которое еще «не произнесено»: события не произошли, хотя, вероятно, произойдут. Это позволяет животному предпринимать предупредительные действия.

Несколько слов о чувствах. Как уже говорилось, у животных в процессе эволюции вырабатываются врожденные программы поведения, обеспечивающие им размножение и выживаемость в борьбе за существование. Это инстинкты и сложные рефлексy — любопыт-

ства, свободы, подражания и др. Аппарат управления телом представлен в той части схемы, которая обозначена как чувства. Возбуждение моделей внутренней сферы в этой части действительно отражает состояние и потребности организма в данный момент, определяемые его положением во внешнем мире и врожденными программами, например размножением. Сами эти программы представлены в виде сложных цепных рефлексов, включающих не только нервные, но и, главным образом, эндокринные звенья. Чувства могут быть различными — от элементарного голода до сложных влечений, связанных с размножением. Часть чувств вызывается внешними факторами, они связаны с защитой («страх», «гнев») — в разных количественных проявлениях от ощущения до эмоции. Таким образом, чувства включаются как «снизу», «с тела», так и «сверху» — от моделей внешнего мира. В то же время сами чувства участвуют в познании, придавая ему субъективность и отражая «интерес».

Действия — это сообщение энергии и информации во внешнюю среду. У животных, стоящих на низком уровне развития, действия представлены безусловными рефлексами, этажные модели которых заложены в двигательных нейронных сетях. Сложное поведение состоит из комбинаций и последовательности сравнительно простых двигательных актов D_1, D_2, D_3 , которые включаются по связям с информационных моделей *Инф. мод.* и чувств \mathcal{C} . По всей вероятности, здесь имеет место такое положение, когда от одной модели-образа идут связи к нескольким моделям двигательных актов. Выбор одной из них определяется чувствами — через повышение возбудимости или готовности (рис. 9).

Действия сопровождаются чувствами до самого конца их выполнения. Они являются одной из обратных

связей программы. Другая связь замыкается через рецепторы, расположенные в мышцах-эффекторах. Когда включается двигательная модель информационной или чувственной сферы, то одновременно включается и «об-

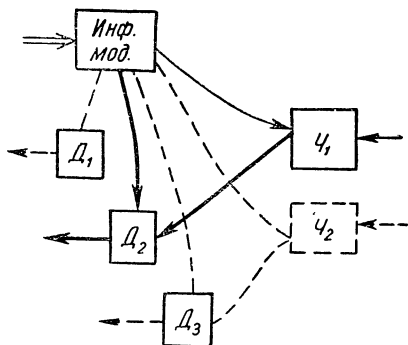


Рис. 9. Схема выбора образа действий (модели действий D_1, D_2, D_3) в зависимости от чувств C — состояния внутренней сферы, тела.

раз» последовательности возбуждения рецепторов в органах движения — ожидаемое слово. В дальнейшем происходит сравнение действительного и предполагаемого и этим контролируется правильность выполнения движения.

В целом двигательная сфера мозга представляется очень сложной сетью, построенной также по этажному принципу, с различными вариантами подпрограмм на нижних этажах, с хорошо выраженным доминированием работающей модели над всеми прочими возможными, если они не включились. Схема показана на рис. 10.

Модель действия на верхнем этаже D_1 может вклю-

чать любой из двух вариантов последовательности включения модели на среднем этаже — D_2 либо D'_2 . Выбор одной из них определяется дополнительными воздействиями с моделей качеств K_1 и с моделями чувств $Ч_1$, а также по степени готовности к восприятию приказа. В данной модели среднего этажа D'_2 не включилось, потому что поддерживающие его чувства ($Ч_2$) и качества (K_2) не возбуждены. Если вариант модели на этаже включился, то одновременно начинает работать тормозная система доминирования T , которая делает невозможным переключение на новый вариант, пока не выполнится включенная программа ($a \rightarrow b \rightarrow \rightarrow v$). От самого нижнего этажа включаются мышцы-эффекторы $\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2, \mathcal{E}_3$. Их сокращения воспринимаются рецепторами обратной связи $O. C.$, и клетки ее способствуют переключению функции с одной модели на следующую в пределах этажа, а по выполнении

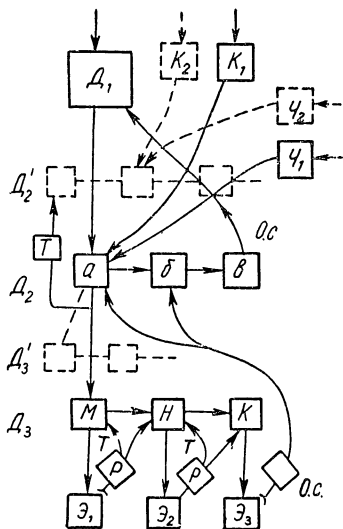


Рис. 10. Схема этажной модели действий.

Варианты программ — D_2 и D'_2 ; обратные связи — $O. C.$; торможение — T ; K_1 и K_2 — модели качеств, возбуждаемые при моделировании внешнего мира; $Ч_1$ и $Ч_2$ — чувства; a, b, v — этапы второго этажа; m, n, k — этапы третьего этажа.

всей цепочки дают сигнал на высший этаж.

Вся эта сложная система у низших животных работает по типу довольно жесткого автомата с врожденными

ми связями, иерархией, обратными связями, доминированием-торможением и пр. Естественно, что значительное разнообразие поведения может быть достигнуто только при наличии очень сложной сети из моделей с различными их функциональными характеристиками. Конечно, в течение жизни происходит отработка наиболее целесообразных вариантов в виде тренировки моделей и усиления проходимостей связей, но возможность выработки новых сложных последовательностей движений — слов на высшем этаже ограничена.

Существует множество видов животных с подобной жесткой системой переработки информации. Они отличаются друг от друга сложностью нервных сетей, обеспечивающих разное количество и этажность моделей. Соответственно у них усложняется поведение, увеличивается степень приспособления к внешней среде и выживаемость индивидов. У более простых животных недостаточная приспособляемость покрывается высокой активностью размножения.

Следующей условно выделяемой ступенью усложнения систем являются корковые животные. Разумеется, они весьма различны, поскольку сложность и объем коры головного мозга у них неодинаковы. Мы рассмотрим некую абстрактную систему, чтобы только показать, как изменяется переработка информации при наличии коры. Схема коркового животного представлена на рис. 11.

Схема напоминает предыдущую ступень, но над информационной частью здесь уже надстроена кора и имеется СУТ — система усиления и торможения. У животных функция коры ограничивается переработкой внешней и внутренней информации, а двигательная система остается в подкорке и управляется почти так же, как и у бескорковых животных. Кора представляет собой мо-

делирующую установку, способную создавать новые модели внешнего и внутреннего мира, благодаря которым становится более целесообразным поведение в условиях изменяющейся внешней среды. Это достигается за счет большого количества нервных клеток с массой связей, обладающих способностью «проторяться» при упражнении и «забываться» при отсутствии функ-

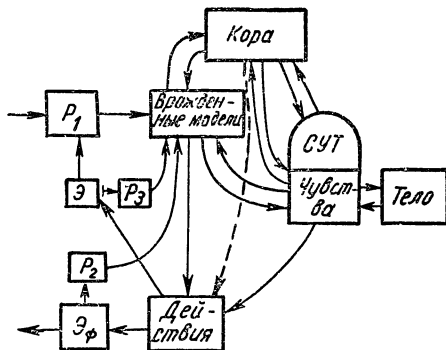


Рис. 11. Схема животного с примитивной корой.

Обозначения те же, что и на рис. 8. СУТ — система усиления и торможения, обеспечивающая «внимание» — усиление одной, наиболее важной в данный момент модели и торможение других; *Врожденные модели* — модели внешних раздражителей в подкорке, в противоположность привитым опытом сложным моделям в коре.

ции. За счет этого создаются условные рефлексy — новые модели и связи между ними. Клетки имеют разные характеристики, что обеспечивает этажность моделей, главным образом в смысле «слов», когда модель распознает определенную последовательность возбуждения моделей—элементов на более низком уровне. Разумеет-

ся, даже в коре большого объема нельзя создать модели всего разнообразия внешнего мира. Поэтому временная память фиксирует на некоторое время внешнюю ситуацию A, B, C (рис. 12) или, иначе, слово в виде комплекса простых моделей $a \rightarrow b \rightarrow c$. Последние соединены временно проходными связями, в которых отражена последовательность восприятия (1, 2, 3) объектов внешней ситуации при переключении настройки H рецептора P . Ситуация запоминается на некоторое время, позволяющее определить двигательную реакцию на нее путем суммирования частных реакций на ее элементы («волк, овца, река — как действовать?»). При многократном повторении ситуации, слова, на высшем этапе создается одна модель, представляющая слово $a \rightarrow b \rightarrow c$ в виде буквы высшего алфавита A . В этом случае формируются прочные связи как между буквами слова, так и между ними и буквой высшего алфавита (рис. 13). При большом количестве моделей обязательно доминирование «сильных» над «слабыми», иначе целесообразная деятельность невозможна. Можно предположить наличие СУТ — некоторой системы с центральной станцией и разветвленной периферической сетью, которая обеспечивает в каждый данный момент усиление одной модели и тормо-

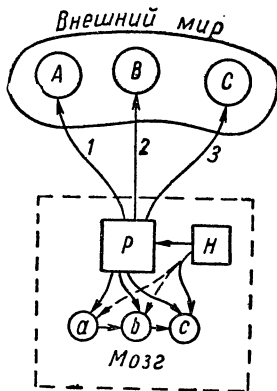


Рис. 12. Схема запоминания ситуации при последовательном восприятии ее знакомых элементов (A, B, C).

H — настройка рецептора P , изменяющаяся в моменты 1, 2, 3; $a \rightarrow b \rightarrow c$ — модель ситуации в виде моделей знакомых элементов, соединенных временно проторенными связями.

жение всех других. По всей вероятности, усиливаться должна «сильная» модель, то есть наиболее возбужденная — за счет действия сильного внешнего раздражителя или благодаря воздействию со стороны чувств. СУТ

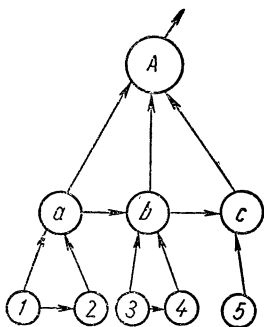


Рис. 13. Схема образования этапной модели ситуации при частом повторении.

обеспечивает выделение в каждый данный момент наиболее важной для организма информации. Такую программу можно назвать вниманием — это первая ступень сознания. Подробнее об этом будет сказано дальше. СУТ тесно связана со сферой чувств, которые являются для нее источником «нервной энергии».

Как отмечалось, двигательная сфера у корковых животных осталась довольно примитивной, однако разнообразие движений, актов поведения стало большим. Этому есть такое объяснение. Можно предположить, что обратная информация с мышц, суставов поступает тоже в кору и там создаются сложные элементы модели собственных движений. Видимо, существует система «считывания» чувственных образов путем включения элементарных двигательных актов. Тем не менее и эта система у животных выражена неполно, поэтому набор движений ограничен, хотя путем обучения и тренировки его можно разнообразить. Кора позволяет планировать движения на большие промежутки времени, так как есть модели высших этажей. На рис. 11 пунктиром показано возможное включение двигательных актов прямо с коры на двигательную зону подкорки.

Кора значительно расширяет возможности предвиде-

ния и даже воображения, так как с появлением высших этажей увеличивается длина слов, в которых суммировано изменение картин внешнего мира во времени. Все предвидение основано на «прочтении» этих слов по

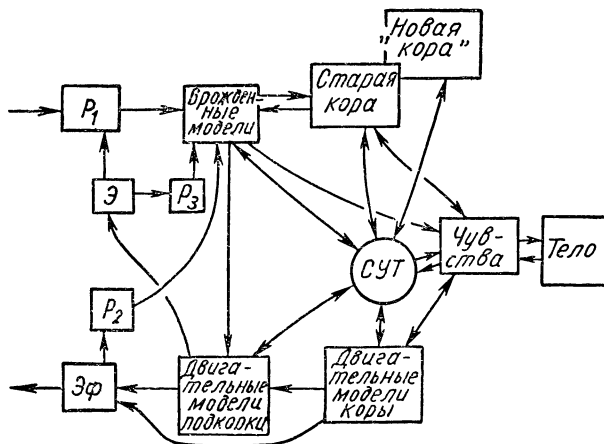


Рис. 14. Схема «моделирующей установки» человека. Обозначения те же, что и в предыдущих схемах. СУТ приобрела большее значение. Появилась «новая» кора, в которой заложены модели высших этажей и параллельных сигнальных систем. Двигательные модели разделились на две группы — врожденные модели элементарных движений в подкорке и сложные модели действий в «новой» коре.

первым буквам. Если обратиться к рис. 13, то это означает, что при возбуждении a автоматически возбудятся b и c , а следовательно, и A . Таким образом появляется возможность предупредительных, опережающих действий, на которых в значительной степени основано поведение животных, способных предугадать действия противника.

Следующей по сложности системой является человек. Его, как клетку в сложном организме, приходится рассматривать с двух сторон: как самостоятельную систему и как элемент еще более сложной — общества. На рис. 14 показана примерная схема основных частей системы. Отличие человека, как биологической системы, заключается в высоком развитии коры головного мозга, содержащей не только огромное количество клеток, но и целые новые области, предопределившие новое поведение. Большой объем коры обеспечивает увеличение количества моделей и повышение их этажности, за счет чего человек приобретает способность к более целесообразному поведению по сравнению с любым животным. Качественное отличие человеческой коры состоит в развитии двигательных областей, которые приобрели возможность непосредственно управлять движениями, минуя двигательные зоны подкорки или, вернее, наслаиваясь на них.

Клетки «новой» коры обладают высокой способностью к обучению, их связи легко проторяются, а собственная активность сильно возрастает после функции. Эти качества определили положение, при котором кора при целенаправленном и настойчивом обучении приобрела способность не только подчиняться подкорке (инстинктам), но и подавлять их. Именно это качество обеспечило возможность создания общества как высшей системы. (Так же, как на заре эволюции способность у некоторых одноклеточных усиливать избранные функции определила возможность создавать клеточные ансамбли).

Взаимоотношение коры и подкорки показано на рис. 15.

В условиях животного существования возбуждение информационных моделей *Инф. мод.* вызывало действие

D_2 , потому что оно поддерживалось чувством $Ч_2$, возбуждаемым с тела. У человека при длительной тренировке информационные модели вызывают действия D_1 , которые не являются биологически целесообразными, но нужны для более высшей системы — общества и привиты воспитанием. При этом естественные чувства $Ч_2$ тормозятся, а возбуждаются привитые чувства $Ч_1$, которые могут оказывать воздействие даже на биологические процессы в теле, вплоть до полного извращения их биологической целесообразности.

Большие возможности для обучения и тренировки корковых моделей и связей, заложенные в структуре человеческой коры и реализуемые через воздействие общества, позволили создать в коре «систему параллельных моделей», или сигнальных систем по Павлову. Например, первой сигнальной системой является система моделей—образов внешнего мира с их этажами — смысловыми и качественными моделями. Вторая система — это искусственные условные значки — система речи, модели которой (как информационные, так и двигательные) созданы на базе естественных образов, но приобрели самостоятельное значение. Благодаря ей человек получил чисто информационный «язык», очень эконом-

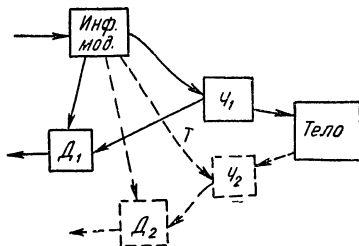


Рис. 15. Схема, показывающая, как тренированные воспитанием информационные модели *Инф. мод.* и связанные с ними действия D_1 , нужные для общества, пересиливают биологически обусловленные действия D_2 и даже навязывают новые чувства $Ч_1$ в противоположность врожденным $Ч_2$. T — торможение.

ный и позволяющий передать ту информацию, которую трудно сообщить в естественных образах. Можно создать несколько таких параллельных систем (например, математика, рисунки или другие языки). Важен вопрос о соответствии сигнальных систем: обращаясь к человеку с речью, можно через слова создать в первой системе образы, которые не имеют чувственного подтверждения в собственном опыте и тем не менее действуют так же, или даже сильнее, чем «виденное самим» (пример: «ад», религия). На этом основана «вера». В процессе обучения слово является моделью конкретного образа и играет подчиненную роль. Однако в дальнейшем слово может создавать новые искусственные образы (вернее, их модели), которые становятся более сильными, чем естественные. Так возникают мифы.

Важнейшей особенностью человека является программа сознания. Я шажмерно называю его программой, потому что это особая система переработки информации, определяющая человека как члена общества. Как говорилось, первой ступенью сознания является внимание — выделение с помощью СУТ в каждый данный момент одной, наиболее важной модели. Оно присуще корковым животным. У человека СУТ должна получить сильное развитие, так как резко увеличивается количество корковых моделей, в деятельности которых нужен порядок, поскольку иначе невозможно целесообразное поведение. СУТ отделяет «сильные» системы моделей, которые в данный момент осуществляют деятельность, от «слабых», накапливающих информацию о второстепенных процессах вовне и внутри с тем, чтобы вовремя использовать ее, если она станет более важной по сравнению с другими. Это «подсознание», которое нельзя рассматривать как некую анатомическую область, а только как вид обработки информации на за-

торможенных моделях. СУТ создала большой диапазон активности моделей, а их обилие, привитое обучением, обеспечило множество параллельных цепей переработки информации. Первый пример я уже привел в виде образной и словесной информации. Но этого мало. Сознание у человека отделило реальное от воображаемого, позволило сильно развить принцип предположений, присущий животным. Люди научились «отключать» реальные раздражители и деятельность и сначала исследовать явления на моделях (это программа воображения, являющаяся частью сознания). Другими программами являются: ориентировка во времени — отличие реальных моделей от воспоминаний прошлого и от предположений на будущее; программы «Я» и «не-Я» — создание в коре системы моделей, представляющих иных людей — конкретных, близких и отвлеченных — общество. Действия человека (его поступки) включаются после сложной программы выбора, осуществляемой в воображении. Решение «как поступить?» исходит из «многоликости» самого человека и учитывает, как отзовется поступок на других людях и через них — снова на себе. Покажем это на схеме (рис. 16).

Когда распознается информационная модель *Инф. мод.* внешнего воздействия, то прежде всего она накладывается на мое «Я», то есть вызывает некоторые специфические чувства. Их несколько: одни связаны с возбуждением какого-то определенного инстинкта, другие — иных инстинктов, третьи — с программами, привитыми обществом (например, долг). В принципе каждая из них может вызывать разные, иногда противоречивые действия D_1, D_2, D_3 , которые прорабатываются в воображении и оцениваются по ожидаемым чувствам. «Частные» чувства оцениваются путем сравнения их приятного (*Пр*) и неприятного (*НПр*) компонентов. По-

следние фиксируются в памяти. Для простоты на схеме показан только один путь D_1 для «Я». Однако этого недостаточно. В мозгу «присутствуют» другие люди

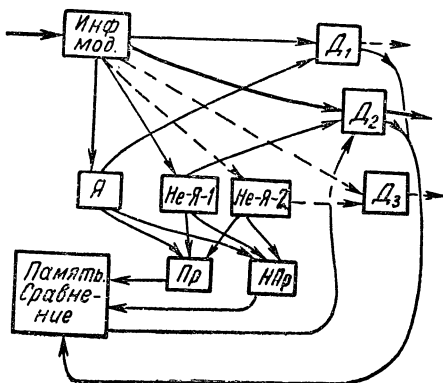


Рис. 16. Схема переработки информации по многим параллельным путям в коре головного мозга человека.

«Я», «не-Я-1» и «не-Я-2» — модели, отражающие «интересы» свои и третьих лиц. D_1 , D_2 , D_3 — программы действий, определяемые этими интересами, которые предположительно прорабатываются при возбуждении модели *Инф. мод.*, каждый раз вызывая возбуждение центров приятного *Пр* или неприятного *НПр*. При последовательной проработке вариантов в воображении запоминается степень их приятности. После сравнения выбирается наилучший, который и включается для выполнения.

(обычно близкие) «не-Я-1» и «не-Я-2» с моделями их чувств, которые «накладываются» на мои собственные, вызывая приятное либо неприятное ощущение (*Пр* или *НПр*). Прежде чем действие включается, в воображении прорабатываются и другие варианты поступков — с то-

чек зрения «не-Я-1» и «не-Я-2» и оценивается, какие чувства возбуждают у них и у меня эти варианты действий. Все варианты записываются и сравниваются в памяти; выбирается оптимальный, вызывающий наибольшее возбуждение центра приятного *Пр* и наименьшее — неприятного *НПр*. Только после этого включается само действие, которое будет потом корректироваться по тем же каналам в процессе выполнения.

Чем выше уровень сознания, тем по большему числу параллельных и взаимодействующих каналов анализируется информация. Этот анализ может осуществляться на уровне сознания или в подсознании, автоматически, неосознанно.

Поступки человека определяются соотношением всех его программ. Выбор зависит от «напряжения» животных инстинктов биологическими и социально-экономическими факторами и от прочности (тренированности) привитых воспитанием программ общественного поведения — этики, морали.

Здесь я не буду касаться конкретного анализа программ поведения. В общих чертах они сводятся к следующему. Во-первых, к этажной переработке внешней и внутренней информации с обучением, поиском, с созданием многих моделей смысла и качеств, под контролем чувств, придающих субъективность процессу познания (моделирования).

Вторая программа «действия» — сообщение энергии и информации вовне. Она в свою очередь сводится: а) к построению плана в воображении в виде многоэтажной модели образов и качеств, отражающих ощущения с мышц, результаты воздействия на внешний предмет и чувства, которые при этом предполагаются; б) к принятию решения «как действовать» в результате чувственной оценки вариантов; в) к самим действиям —

«считыванию» плана последовательным включением комбинаций простых заученных движений. Действия осуществляются под постоянным контролем обратных связей: а) с мышц и суставов, б) с объекта воздействия через дистантные рецепторы, в) с центров собственных чувств (*Пр, НПр*). В памяти последовательно отражается модель выполняемого действия и сравнивается с планом. При рассогласовании включаются программы увеличения усилий, изменения плана либо даже прекращения действия. Все выполненные действия остаются в памяти в виде модели на одном или нескольких этапах (запоминаются в подробностях, в общем виде или помнятся только частные детали и ощущения). Эти модели являются обучением, они используются в последующей деятельности.

Как уже упоминалось выше, формируются модели двух видов: в виде последовательности моделей — элементов, которые соединяются связями с односторонней проходимостью ($a \rightarrow b \rightarrow d \rightarrow m$) и представляют, таким образом, сложную систему, или в виде модели — эквивалента на высшем этапе (буква $A = a, b, d, m$), которая создается при многократном повторении и заменяет всю комбинацию элементов на низшем этапе (слово).

Важнейшей программой деятельности, отличающей человека от животных, является творчество и труд. Творчество представляет собой синтез *новых* моделей в коре в противоположность простому отражению внешнего мира. Новые модели, как комбинации из готовых моделей — элементов на низшем этапе, создаются в результате определенной программы поиска либо случайно. Связи между элементами закрепляются, и такая модель выступает наряду с полученной опытом при восприятии внешнего мира. В последующем она может быть «считана» трудом, воспроизведена физическими действи-

ями мышц, так что в результате получается вещь или физическая информационная модель, записанная словами, нарисованная либо прочитанная. Модель становится самостоятельно существующей системой, которая может вступать в различные отношения с человеком.

Можно отметить крайнее разнообразие в поведении людей. Оно объясняется различиями в наследственной информации, воспитании, в условиях жизни, влияющих на собственный опыт. При всех прочих равных условиях направление развития человека может пойти по различным путям в результате кажущегося незначительным толчка. Это объясняется «увлеченностью», способностью к самоорганизации, когда возбуждение и тренировка одних моделей формируют вокруг себя другие и изменяют все программы. Чем выше уровень сознания человека, то есть больше параллельных цепей и этажей в обработке информации, тем шире возможное разнообразие и тем резче индивидуальные отличия.

Основное качество человека как члена общества — это способность к воспроизведению своих корковых моделей речью и в вещах.

Можно выделить несколько типов моделей.

1. Модели словесные. В этом случае вся информация представлена расположенной на плоскости системой знаков. Подобный код описывает структуру, функцию, качества, различные отношения между системами и элементами в пространстве и времени. Речь является универсальной системой кодирования информации, она способна передать тончайшие особенности восприятия. К сожалению, она имеет существенные недостатки. Словесные модели «оживают» только через человека, они превращаются в систему со своей структурой и функцией в коре головного мозга. Этот процесс очень субъективен, иными словами, каждый человек по одному и

тому же описанию создает свои модели. Все они имеют качественный характер. Построить по словесному описанию «действующую» модель нельзя. Описание словами — медленный процесс, с пространственными и временными разрывами и скачками, отражающими течение мысли — переключение усиления с одних корковых моделей на другие, с конкретных образов на обобщенные модели, на качества, воспоминания, предположения. Поскольку в самой коре нельзя воспроизвести сложную «действующую» модель, это нельзя сделать и в описании.

2. Модели графические. Они получаются при воспроизведении пространственной корковой модели на плоскости. Здесь в большей или меньшей степени сохраняются истинные структурные отношения между элементами системы-объекта. Рисунки и чертежи содержат больший объем информации, чем описания, но и они также являются лишь статической моделью, оживающей через кору человека. Правда, последовательностью картин, как это делается в кино, можно воспроизвести «действующую» модель системы, отразить в изменении формы, размеров и цвета одновременную функцию многих элементов, но это возможно лишь при выполнении одной какой-нибудь заранее зафиксированной программы. Сама по себе, без участия человека, такая модель изменяться не может.

3. Модели математические. Представляют собой отражение количественных отношений условными знаками, цифрами, формулами из букв и специальных знаков. Формулы отражают действия, а также качества. Если буквы заменить цифрами, получается конкретная задача, в которой воспроизведена некоторая частная, абстрагированная модель деятельности системы.

К сожалению, формулами можно выразить лишь сравнительно простые системы. Однако цифры позво-

ляют передать очень большой объем информации, хотя и приближенно.

Сочетанные модели из словесных описаний, рисунков, формул и цифр могут отразить с достаточной полнотой даже весьма сложные системы, позволяют создать по ним «действующие» модели или вещи. К сожалению, для этого тоже нужен человек, чтобы он «прочитал» и воспроизвел модель.

4. Модели физические. Могут быть самыми различными. Наиболее простые — это пространственное отображение структуры объекта, без функции. Следующие по сложности — «действующие» структурные модели, в которых воспроизведены те же физические процессы, что и в объекте, только в уменьшенных пространственном и временном масштабах. Обычно это механические модели вещей. Можно создать модели на другой физической основе (например, «электронная модель сердечно-сосудистой системы»). К сожалению, практически очень трудно создавать физические модели сложных систем. Для этого нужно слишком большое разнообразие.

В последние десятилетия положение изменилось в связи с развитием электроники. Появилась возможность значительно увеличить разнообразие моделей, выразив любую функцию и структуру в электронной схеме. Так возникли сложные аналоговые модели. Параллельно с ними развились цифровые машины, в которых можно воспроизвести сложную систему, если известны структура и функция ее частей. Хотя аналоговая модель полнее отражает системы, но изготовление ее сложно, так как не всегда можно найти подходящие элементы и обеспечить надежность любой схемы. Модели на цифровых машинах — чисто информационные, и в них можно задать любые зависимости. К сожалению, составле-

ние программ и время просчетов очень ограничивают размеры моделей для цифровых машин, и пока еще не удалось создать сложные модели.

Тем не менее сделан важнейший шаг вперед — создан новый код сложных моделей, которые могут действовать самостоятельно, не трансформируясь через мозг.

ЭВМ позволяют по-новому организовать коллективную работу по созданию моделей. Прежде ученый, изучавший частный вопрос, создавал частную модель в виде описания. Объединить несколько таких моделей можно было только в мозгу некоего гениального ученого — только тогда «оживала» сложная модель, составленная из «кусочков». Теперь появилась иная возможность: каждый создает свою модель в виде программы для ЭВМ. Их можно объединить (хотя это тоже нелегко), и в результате получится большая «действующая» модель. Так возникла принципиальная возможность создания модели, которая будет «умнее» ее создателей, взятых вместе. «Умнее» — это значит, что на модели можно вскрыть новые качественные явления, которые ускользают от исследователей, поскольку каждый из них не в состоянии создать в мозгу «действующую» модель такой сложности.

Общество представляет собой наиболее сложную из всех систем. В ней три этажа сложности: разнообразие молекул в клетке и разнообразие клеток в организме дополнено разнообразием людей.

В связи с этим нужно рассмотреть несколько общих вопросов, касающихся сложных систем.

В первую очередь речь пойдет о связях и противоречиях. Связи — это воздействие одной системы на другую и способность к их восприятию.

Как говорилось, каждая система имеет программы

«для себя», «для рода», «для вида». Воздействия со стороны других систем могут избирательно стимулировать или тормозить любую из этих программ, которые иногда вступают в противоречие друг с другом. Оценка внешнего воздействия с точки зрения его полезности сложна, поскольку сложны собственные программы и различны воздействия на них извне. Трудно прямо ответить — что полезно, что вредно, нужно пытаться количественно определить пользу и вред для разных программ и в динамике. Это можно сделать только на сложных моделях.

Связи между одинаковыми или близкими системами имеют противоречивый характер: они объединяют системы для выполнения одной программы и мешают осуществлению другой. В том случае, если они способствуют главной программе — «для вида», они становятся прочнее, так как закрепляются в потомстве, хотя и не приносят «счастья» системе как индивидууму. В конце концов эти связи настолько упрочиваются, что однородные системы-элементы объединяются в более сложную систему. Противоречия между составными частями при этом сохраняются, но подавляются.

Итак, более сложные системы образуются двумя путями: либо простые системы-элементы полностью не разделяются (не расходятся) при размножении, либо они объединяются потом в результате появления у отдельных индивидов новых качеств, которые усиливают центростремительные связи. По первому типу образовались многоклеточные организмы, по второму — современное общество в виде государств.

В каждой системе можно отметить черты более высших систем, иными словами, всякая из них выступает как часть более высшей системы, хотя степень прочности объединяющих их связей может быть невелика. Так,

например, у животных существуют связи друг с другом, за счет которых они иногда объединяются в стаи, при иных условиях распадающиеся. Является ли стая системой — такой, как, например, организм? Является ли системой человеческая община? Мне кажется, критерием, позволяющим определить, что «система уже есть», служит невозможность для элементов жить и размножаться вне системы.

В новой, «высшей» системе появляются свои программы, несходные с программами ее элементов, и это является главным ее отличием от простого сообщества элементов, каждый из которых продолжает жить своей жизнью. Фабрика с разделением труда — это система, а артель кустарей, где каждый выполняет свое дело от начала до конца, — не система.

Если подходить с этой точки зрения, то общество как система появилось только на определенной ступени организации человеческих коллективов, связанной с разделением труда, власти и накоплением вещей. Чем дальше развивается цивилизация, тем прочнее становятся связи между людьми, тем в большей мере общество становится системой.

Прочность связей зависит от расположения частей системы в пространстве. Все связи осуществляются через физическое воздействие и сводятся к передаче той или иной энергии либо материальных частиц. Можно предположить, что чем меньше расстояние между элементами, тем большая часть передаваемой энергии достигает цели. Обычно это относится к внутренним связям системы. Внешние связи имеют меньший к. п. д., так как трудно передать значительное количество энергии на большое расстояние. В первых двух классах сложных систем — в клетке и организме все части связаны друг с другом жесткими или гибкими связями.

Исключение составляют некоторые насекомые, например, пчелы, муравьи, термиты. Муравейник или улей, несомненно, представляет собой единую и причем жесткую систему, так как ее части не могут существовать или размножаться отдельно, а вся система обладает на редкость строгим постоянством программ. В то же время между частями этих систем нет постоянных пространственных отношений, и передача информации осуществляется «через воздух», то есть сигналами, а не «простой физикой». Ученые частично расшифровали «язык» пчел и установили, что они проделывают сложные движения, представляющие собой буквы и слова информационного языка. Хотя материальный носитель информации и не обеспечивает строго целенаправленную передачу энергии без потерь, тем не менее удастся осуществить достаточно прочную связь, чтобы обеспечить выполнение жестких программ. Правда, в этом помогает химический код: насекомые выделяют активные вещества, действующие в ничтожных концентрациях. Высокая надежность передачи информации обеспечивается еще многократным дублированием — массовостью, большим количеством насекомых в системе. Впрочем, это имеет место и в обычном организме.

Человеческое общество является примером образования системы без фиксированных связей, на базе высокоорганизованных элементов. Можно проследить, как создавалась и упрочивалась такая система по мере совершенствования средств связи между людьми. Вначале эта связь выражалась простейшими предметами и устной речью. Непременным условием ее появления послужила необходимость коллективных действий, а это требует элементов сознания в виде выделения моделей «Я» и «не-Я» и моделирования действий третьих лиц. Кора головного мозга человека и его двигательные органы —

гортань и руки позволяли создать разнообразие движений. Орудия труда и войны явились первыми вещами, в которых запечатлена информация. Эффективность коллективных действий, отраженная в чувствах приятного, увеличила центростремительные связи в обществе, они пересилили центробежные, которые у животных ведут к распаду стаи при мало-мальски благоприятных внешних условиях.

Следующим шагом на пути упрочения общественных отношений стало появление рисунков, а затем и письменности. Как только двигательная сфера человека достаточно усовершенствовалась, он стал рисовать в силу присущего даже животным рефлекса самовыражения. Затем появились буквы, слова и фразы. Письменность изменила характер передачи и хранения информации, она дополнила устную речь и удлинила расстояние и время между общающимися людьми. В результате связи стали еще прочнее. Пока это касалось только одного племени, имевшего свой код информации — язык и предметы, создавались ограниченные человеческие системы. К счастью, предметы оказались универсальными, и на их базе появилась возможность общения между племенами. Так возникли государства со своей внутренней организацией. При этом противоречия, существующие между отдельными людьми и подавляемые внутренней организацией, были распространены и на сферу общения между племенами и государствами.

Основное отличие человека от животного заключается в возможности творчества. Как только общий объем информации (количество моделей) в коре достиг необходимого начального уровня (накопление знаний и навыков), творчество стало проявляться в самых различных сферах деятельности. Нужно помнить, что создан-

ные в коре модели имеют такую же прочность, как и модели, отображающие готовые системы. Отсюда — возможность мифов и возможность прогресса. В отличие от улья или муравейника в человеческой общественной системе каждый член ее может придумывать не только новые предметы, но и новые формы отношений. Все новое может распространиться среди людей и изменить структуру общества.

В общественной системе можно выделить те же условные структурные подразделения, что и в системе «человек» или любой иной. Система имеет внешние отношения, под которыми можно понимать отношения с другими подобными системами — государствами, племенами. Для этого существуют «рецепторы» и «эффе́кторы» — войска, дипломаты. С другой стороны, есть внутренние отношения — различные структурные и функциональные подсистемы, обеспечивающие врожденные программы по примеру инстинктов — поддержание жизни и распространение. Все это объединяется органами управления. Чем выше уровень техники, тем сложнее структура системы, тем больше разных подсистем, сложнее их устройство. Условно можно выделить несколько подсистем, из которых состоит общество: экономику, политику и идеологию, искусство, образование, науку, наконец, — государство. Человек участвует в каждой из них, только с различными функциями. В одних он выступает как производитель, в других — как потребитель (рис. 17). Каждая подсистема — это не только люди, но также природа, техника (вещи) и их модели — книги, рисунки и пр. (рис. 18). Здесь же показаны вычислительные машины — моделирующие установки будущего, которые будут иметь прямые связи с природой, техникой, людьми и даже книгами.

Общество в информационном плане можно предста-

вить себе сетью из организаций, предприятий, общин, нанесенной на карту территории с ее природными особенностями. Каждая такая ячейка состоит из людей и имеет свои функции, которые можно выразить в виде

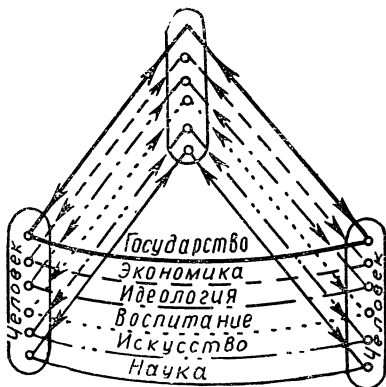


Рис. 17. Условная схема общества, состоящего из людей, включенных в его основные подсистемы. Человек получает «раздражители» от каждой подсистемы, а «выдает» действия в одну из них.

потоков информации и вещей. Кроме людей, в схему входят вещи — предприятия, здания, оборудование, наконец, книги и другие виды моделей. Поток информации — это не только количество слов, но и модели, ими выраженные. Внутренние программы людей — участников коллектива превращают модели в действия — в вещи или другие модели. Эти программы отчасти врожденные (животные), но главным образом привитые воспитанием и поддерживаемые воздействием общества.

Для иллюстрации представлена схема на рис. 19. В правой части рисунка показано взаимоотношение корковых моделей, моделей печатных и вещей. В левой части изображены три условные организации, состоящие каждая из начальников, администраторов и рабочих. Разными линиями представлены потоки информации и вещей, циркулирующие внутри организаций и между ними. Содержание информации может быть самым различным и воздействовать

на людей через разные программы — через инстинкты, привитые обществом чувства (например, совесть, долг). Разумеется, структурная схема, охватывающая общество, будет очень сложна, а количество и качество передаваемой информации пока трудно обозреть.

В «действующей» модели общества, соответствующей по типу подобной схеме, можно отразить все: экономическую и классовую структуру, идеологию, производственные и политические отношения, противоречия между классами и нациями. В основу схемы в качестве элементов нужно положить «обобщенные» модели людей разных социальных групп, в которых отражены количественные зависимости поведения от физических, экономических и моральных воздействий. Структура схемы включит как людей (коллективы), так и созданные ими вещи.

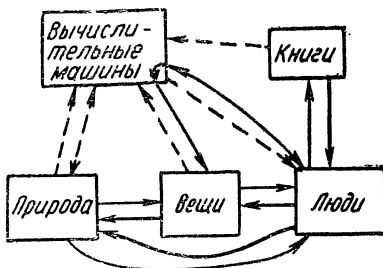


Рис. 18. Схема подсистемы, которая состоит из людей с их корковыми программами, набором моделей в книгах, вещей, созданных людьми и используемых в деятельности подсистемы, природных факторов (если они используются). Наконец, представлены вычислительные машины, которые сейчас выполняют волю людей по управлению вещами, а в будущем получают собственные связи с каждой частью подсистемы. Сплошными линиями показаны существующие связи, пунктирными — будущие.

К сожалению, пока нет возможности создать скольнибудь подробную действующую модель общества, так как нет еще нужных характеристик людей, а вычислительные машины несовершенны и не могут произвести колоссальные расчеты, необходимые для построения та-

ких сложных схем. Однако эти препятствия преодолимы.

Человечество еще не представляет собой единой глобальной системы. К понятию «система» приближаются

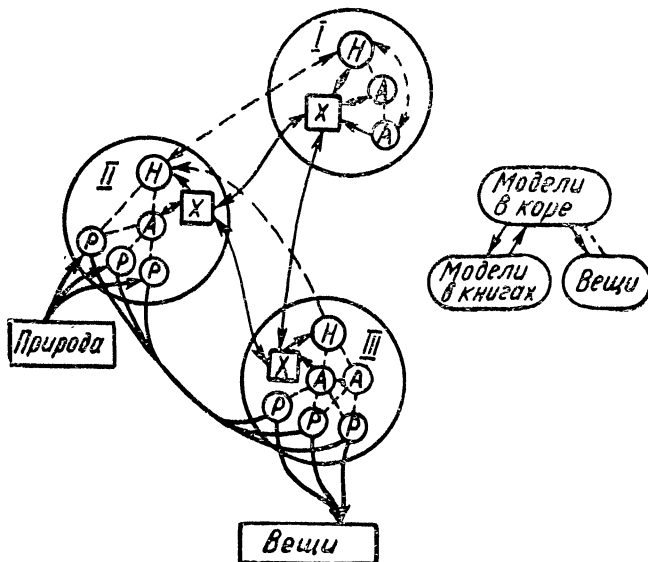


Рис. 19. Примерная схема структуры и взаимоотношений нескольких коллективов (организаций I, II, III).

Н — начальники, *А* — администраторы, *Р* — рабочие, *Х* — хранение письменной информации. Сплошными линиями показано движение письменной информации, пунктирными — устной, жирными — движение вещей.

только государства: в них внутренние связи — политические, идеологические, экономические — прочнее внешних. Объединению человечества мешают центробежные силы, частные интересы стран, противоречия на почве различий в идеологии, языке, условиях жизни. Кроме

того, в каждой стране есть свои внутренние противоречия — от несовершенства управления и связанные с неравномерностью социальной структуры.

Однако центростремительные силы в человечестве все время возрастают. Это выражается в расширении связей, которое обеспечивается современной техникой, в уменьшении различий в уровне культуры. Наконец, важнейшим элементом является повышение уровня «сознания общества». Выше было сказано о программах сознания человека. Это можно отнести и к обществу: моделирование (познание) собственной структуры и функций своих элементов, программ деятельности, параллельные расчеты ее с разных точек зрения — все это обнимается понятием «наука» в самом широком смысле слова. Здесь психология — модели элементов. Здесь социология — модели общественных систем, вплоть до моделирования идеологий. До недавнего времени познавательные возможности человечества в создании моделей сложных систем были ограничены пределами «мощности» человеческого мозга. Теперь положение изменилось: вычислительные машины при дальнейшем совершенствовании могут стать моделирующими установками с почти неограниченными возможностями создания сложных моделей — «действующих», с обучением, с совершенствованием и даже с самоорганизацией.

Тем не менее точное познание «программ общества» невозможно, и поэтому долгосрочные прогнозы всегда останутся недостаточно вероятными. Дело в следующем: человек как биологическая система не имеет особых надежд на быстрое изменение, и это как будто ограничивает пределы изменения социальных систем. Однако общество привило ему программу творчества. Это позволяет постоянно изменять вещи, создавать сложнейшие искусственные системы. Новая техника и

наука (в том числе искусственные моделирующие установки) обещают значительные возможности в познании людей и изменении отношений между ними. Это создает предпосылки к изменению социальной структуры за пределы, мыслимые сегодня.

Класс систем	Название	Особенности структуры	Код и количество информации	Новое качество
I	Клетка	Жесткая пространственная структура из белковых и других сложных молекул	Химический код, количество и качество органических молекул	Изменчивость в результате мутации
II	Сложный организм с корой головного мозга	Жесткая пространственная структура из клеток над структурами из молекул	Химический код, дополненный кодом нервных импульсов. Внешний код—движения	Ограниченная самоорганизация за счет условных связей в коре головного мозга
III	Общество людей	Весьма вариативная, гибкая структура из людей, моделей и вещей	Код моделей и вещей	Большая самоорганизация за счет творчества и создания вещей
IV	Гипотетическая система «машин», искусственных моделирующих установок	Ничем не ограниченная, гибкая структура из искусственных элементов	Разные коды	Неограниченная самоорганизация и распространение

В этой главе был дан краткий обзор развития и сущности систем. Завершу ее примерной классификацией.

Переход от одного класса к другому совершался постепенно. Последний тип систем, разумеется, может и не осуществиться.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Уже упоминалось, что всякое познание можно трактовать как моделирование. Когда «я что-то знаю», это значит, что в коре моего головного мозга имеются модели, отражающие объект. Коровые модели представляют собой структуры из нейронов, объединенные проходимыми связями. Соответствующее умение позволяет «считывать» их, выразить физической моделью — вещью.

Можно нарисовать примерную схему процесса познания (см. стр. 58).

Стимулами познания являются «потребности» — врожденные или привитые воспитанием программы «для себя», «для рода», «для вида-общества». Потребности—стимулы—интерес выражаются через чувства. У человека важнейшим стимулом познания является сложный рефлекс любопытства, имеющийся уже у животных и усиливающийся в процессе воспитания. Суть его состоит в том, что включается программа поиска, если первичная модель, возникающая при случайном или преднамеренном восприятии, не опознается, иными словами, для нее нет эталона в постоянной памяти. Поиск заключается прежде всего в настройке рецепторов, затем в воздействии на объект с целью получения новой информации. (Эта цель не обязательно осознается — рефлекс безусловный).

Весь процесс познания может оставаться в корковых моделях либо же они «считываются» путем записей или создания вещей. В этом случае они сами становятся объектом восприятия и стимулирования поиска.

Интерес одновременно предусматривает «гипотезу» в виде возбуждения некоторой сходной модели в постоянной памяти, которая имеет связи с соответствующими чувствами.

Общий «алгоритм познания» присущ не только человеку, но и высшим животным и более сложной системе — обществу. У него тоже есть потребности, интересы, стимулы в виде соответствующих чувств у членов общества, выраженных в «общественных моделях» — речах, документах, книгах.

Наука представляет собой, с одной стороны, набор моделей некоторого класса объектов, а с другой — сам метод получения моделей и их использования для управления объектами. Это и является в масштабах общества выражением «программы познания», присущей любой сложной системе.

Всякая модель сложной системы несет на себе печать ограниченности и искажения, связанных с самим принципом моделирования в виде упрощения, в неравномерности которого отражается субъективность моделирующей системы. Это в равной степени относится и к человеку и к обществу.

Точность модели зависит от соотношения моделирующих возможностей познающей системы (ее «ума») и сложности объекта, а также от метода моделирования — «кода модели». Остановимся на этом несколько подробнее.

Как объект, так и модель состоит из некоторых элементов. Естественно, что точность модели прямо определяется соотношением количества элементов и связей

в модели и объекте. Как уже говорилось, структура и функция сложных систем отражают принцип этажности. Вирусная клетка и государство одинаково состоят в конечном итоге из элементарных частиц. Но количе-

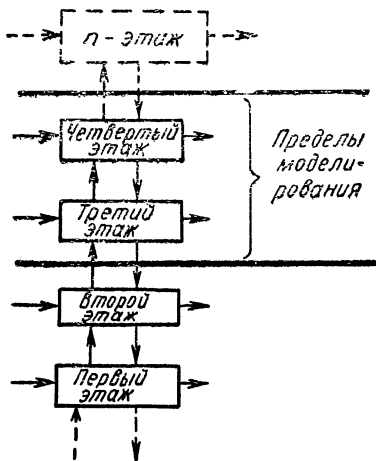


Рис. 20. Схема, показывающая, как при моделировании выделяются только несколько этажей системы, а выше- и нижележащие остаются за пределами познания.

ство этажей над ними различно. Моделирование неизбежно приходится начинать с некоторого этажа, так как ограничено число элементов и связей, которыми располагает моделирующая установка. Мы моделируем упрощенно структуру и функции либо потому, что еще не имеем соответствующих технических возможностей, либо потому, что не знаем подробностей. В любой

сложной системе эти этажи взаимосвязаны и оказывают влияние один на другой. Однако степень влияния различна и зависит от специфики системы. На рис. 20 показана условная система, состоящая из нескольких этажей. На каждом из них производится переработка информации, есть свои физические зависимости. Ввиду наших ограниченных возможностей мы моделируем только два этажа — третий и четвертый, «отсекая» ниже- и вышележащие, причем даже точно не знаем, сколько их. При этом допускаются большие или меньшие потери информации (неточности модели) в зависимости от того, насколько сильное влияние (количественно!) оказывают неучтенные этажи на взятые нами. Например, производится математическое описание машины, ее статические и динамические расчеты. При этом мы пренебрегаем молекулярным устройством ее деталей, ограничиваясь, например, их массой. Выполненная из стали машина будет работать в соответствии с одними расчетами, выполненная из гибкой пластмассы — в соответствии с другими. При изучении расстройств кровообращения, связанных с пороками клапанов сердца, можно пренебречь молекулярной структурой клеток, неточности будут не очень велики, а при изучении рака начинать моделирование с уровня органов бессмысленно, так как сама природа патологии заложена на молекулярном уровне, в программах размножения клетки. Некоторым выходом из положения является учет влияния ниже- и вышележащих этажей в виде некоторых поправочных коэффициентов, выведенных статистически, своего рода помех, нарушающих строгий детерминизм работы избранных этажей. Однако нужно сразу оценить величину этих помех и определить правомочность моделирования на избранном уровне. Еще пример: можно изучать (моделировать) обще-

ственные системы начиная с общественных структур, пренебрегая психологией и тем более физиологией людей. Эту модель можно выдать за абсолютную истину, поскольку она описана только качественно. Однако при детальном сравнении «поведение» модели не будет совпадать с объектом. Иногда модель можно «поправить» коэффициентами, а иногда—нет, и в таком случае нужно «спускаться ниже» и моделировать психологию людей.

Из сказанного следует, что существуют системы, для которых необходимая полнота моделирования может быть достигнута только ценой усложнения модели. Иначе говоря, есть такие сложные явления, которые нельзя объяснить просто.

В связи с этим встает вопрос о необходимой точности модели. Самая точная модель — это копия. Применительно к сложным системам — это недостижимый предел, так как трудно надеяться на создание точной копии даже клетки, поскольку сложные органические молекулы, из которых она составлена, тоже не вполне одинаковы. Любая модель — упрощение, следовательно, она не воспроизводит *все* функции (программы) оригинала. Создавая модель, мы ставим цель воспроизвести некоторый комплекс функций, обычно в связи с задачами управления системой. Например, если нужна модель организма, пораженного раком, то она должна быть такой, чтобы по ней можно было вмешаться в природу болезни. Следует заметить, что управление как критерий точности модели нужно оценивать реалистически: иногда задачи управления могут быть очень ограниченными и для их выполнения достаточно примитивной модели.

Вторым (после сложности) фактором, определяющим ценность модели, является ее тип или, быть может, правильнее — код. Выше уже перечислялись основные ти-

пы моделей: словесные, графические, математические и несколько видов физических вплоть до «действующих» механических и электронных моделей и программ для ЭВМ. Все они имеют преимущества и недостатки. Словесные описания в комбинации с рисунками и цифрами могут моделировать очень сложные системы, но они статичны и не позволяют учитывать изменения, одновременно происходящие в разных частях системы. Кроме того, они вдвойне субъективны, так как «оживают», только будучи воспринятыми мозгом человека, когда на субъективность составителя наслаивается еще субъективность читателя.

Наиболее точной моделью является математическая. К сожалению, возможности этого метода моделирования ограничены сравнительно простыми системами. Во всяком случае, математика может описывать лишь частные зависимости в биологии, психологии или социологии. Может быть, именно поэтому перечисленные науки полны противоречивых теорий, которые никак нельзя примирить. Следствием ограниченности и субъективности моделирования старыми методами являются несходные модели одного и того же явления. Чем сложнее система, тем больше этих противоречий. Это видно на примере социологии.

Теперь появились новые возможности создания «действующих» моделей с помощью электроники и вычислительных машин. Хотя сложность таких моделей еще не очень велика и уступает описательным, но то, что они «действующие», что в них по-новому претворяется коллективный труд и что они могут осуществлять управление помимо человека, является новым качеством, которое в некоторых случаях незаменимо.

Можно создать несколько типов таких моделей:

1. Модель — сеть из набора некоторых функциональ-

ных электронных элементов, в которой отражена схематизированная структура системы, а функция каждого элемента воспроизводит соответствующую функцию части системы-объекта. Это «действующая» модель типа специальной аналоговой машины. Функция ее элемента может быть выражена переменной величиной потенциала на выходе, или частотой импульсов, или, наконец, возбуждением по типу «да—нет» различных элементов схемы, в которых функция отражена в структуре.

К сожалению, построение таких аналоговых моделей очень сложно, так как нелегко отобразить в характеристиках элементов электронной схемы все разнообразие «поведения» элементов сложных систем. Еще труднее моделировать «память», обучаемость, то есть усиление функции элементов и проторение связей между ними в результате упражнения. И наконец, чрезвычайно трудной задачей является моделирование самоорганизации в виде образования новых связей и включения в систему новых элементов. К тому же нужно учесть, что любой элемент модели имеет еще свои физические особенности, помимо того информационного содержания, которое в него вкладывается. В механических моделях — это инерция, трение, в электронных — индукция. Отсюда дополнительные трудности при создании физических «действующих» моделей. Однако такая модель имеет очень большие достоинства, поскольку в ней все элементы «действуют» одновременно, полностью отражая одновременную циркуляцию информации по множеству связей. Совсем по-иному работает цифровая машина: там вся деятельность должна быть вытянута «в ниточку» — действия, происходящие одновременно, нужно представить в последовательности. Это преимуще-

щество перекрывает трудности, сопряженные с созданием аналоговых моделей.

2. Алгоритмическая модель для ЭВМ, представленная схемой, состоящей из ряда блоков, в которых производится переработка информации по определенным алгоритмам. Я полагаю, что этот тип малопригоден для «действующих» моделей сложных систем и приемлем только для решения более или менее частных задач, вроде постановки диагноза, машинного перевода или даже «машинного разговора». В этих случаях дело сводится к сложным преобразованиям информации вне времени.

3. Наиболее перспективным, на мой взгляд, является метод моделирования сложных систем на сетях подобных нейронным. Суть метода сводится к следующим пунктам.

Первое — определение задачи: нужно сформулировать, для какой цели предназначается модель — для выяснения частных зависимостей или целостного «поведения» системы при определенных внешних условиях с различной степенью обобщения ее деятельности. Пример — модель внутренней сферы организма, в которой отражены отношения органов — сердца, печени, легких, сосудов и регулирующих систем — нервной и эндокринной. В зависимости от цели моделирования изменятся структура модели, характеристики элементов и масштаб времени. Одно дело, когда моделируются острые патологические состояния и модель должна отразить изменения параметров по минутам и часам, и другое — воспроизведение тренированности органов к физической нагрузке, когда процесс затягивается на месяцы. А иногда нужен масштаб времени, исчисляемый сотыми долями секунды. Такое же положение в социологи-

ческих моделях: можно воспроизводить подробные или обобщенные явления, быстрые и медленные.

Задачей модели определяется и уровень структур, с которых «начинается» модель. Для физиологии — это молекулы, клетки или органы, для социологии — человек, производственные коллективы либо целые социальные группы. Уровень модели избирается на основании гипотезы о характере моделируемых явлений. Начинать нужно с того уровня, на котором лежат основные закономерности процесса. Например, для выяснения патогенеза рака начальным должен быть уровень молекул, а для исследования расстройств кровообращения достаточно уровня органов. При этом нужно учитывать реальные возможности изучения объекта и сложность пересчетов получаемой схемы. Так, молекулярная модель клетки пока вообще невозможна, и поэтому структурное моделирование не может помочь в выяснении механизмов развития рака.

Следующим этапом является построение структурной схемы модели. Сначала определяются функциональные элементы и группы из них в соответствии с принятым уровнем моделирования. Составляется схема взаимодействий элементов внутри групп и между последними, проводятся линии прямых и обратных связей согласно логической гипотезе, положенной в основу модели. Все это осуществимо с разными степенями подробностей. К примеру, в схеме внутренней сферы сердце можно изобразить одним элементом либо разделить его на камеры, выделить коронарные сосуды, проводящую систему и пр. Все зависит от задачи, от возможности получить количественные характеристики выделенных элементов. При этом нужно учесть, что схема не должна быть чрезмерно сложной.

Для каждого «квадратика» — элемента схемы следу-

ет выписать все переменные — входы и выходы. Практически входы означают перечень факторов, вызывающих изменение функции данного элемента и действующих по связям со стороны других элементов схемы или извне, а выходы — список собственных функций данного элемента, которыми он воздействует на другие элементы или вовне. Все эти факторы уже известны специалистам, хотя обычно только в качественном отношении — «первый фактор увеличивает вторую функцию». Элемент схемы представляется как бы «черным ящиком».

После этого следует критически рассмотреть все переменные, и так как их обычно оказывается больше, чем можно учесть, нужно выбрать «существенные», играющие важную роль именно в тех процессах, которые предполагается моделировать. «Несущественные» и те, что не поддаются количественному учету, временно отбрасываются, чтобы не загружать схему. В последующем иногда к ним приходится возвращаться. Затем определяют разменность избранных входов и выходов с учетом принятого темпа времени. Теперь можно представить схему модели в окончательном виде, изобразив отдельными линиями каждую функциональную связь между элементами. Для примера на рис. 21 показана схема модели некой абстрактной системы.

Важнейшим этапом построения модели является получение характеристик каждого элемента схемы, выражающих количественные зависимости выходов и входов. Необходимо иметь два типа характеристик: статическую, в которой отражена величина выходной функции, определяемая входными параметрами вне зависимости от времени ее достижения (практически — при постоянном действии входов), и динамическую, в которую входит изменение функции во времени при из-

менении величин на входе. Статические характеристики выражаются системой алгебраических уравнений, а динамические — дифференциальными уравнениями. При сложных схемах необходимо по возможности упрощать

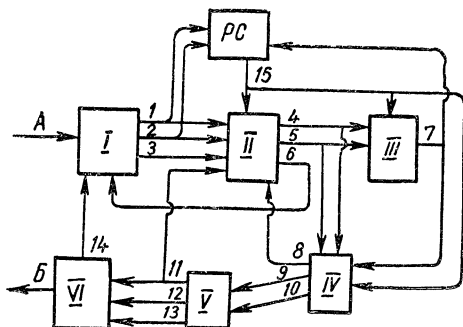


Рис. 21. Схема модели некой абстрактной системы.

A — вход; *B* — выход; *I–VI* — рабочие элементы; *PC* — регулирующие системы; *1–15* — выходные функции элементов, которые нужно рассчитывать при моделировании.

математическое выражение характеристики, в противном случае расчеты модели будут излишне громоздкими. Нужно также учитывать недостаточную точность биологических, психологических и социологических исследований, которое делает бессмысленным чрезмерное усложнение математического аппарата. Характеристики можно условно поделить на «нормальные» и «патологические». Последние относятся к таким неустойчивым режимам работы элемента, когда на входы его подаются чрезмерные или необычные раздражители.

Методология экспериментальных исследований с целью получения количественных характеристик слож-

ных («типа живых») объектов является самостоятельной научной задачей. До сего времени биологи проводят свои опыты настолько нестрого, что результаты их непригодны для получения характеристик. В самых общих чертах порядок эксперимента должен состоять из следующих этапов:

1. Постановка задачи — определение функционального акта, подлежащего изучению.

2. Определение входов и выходов, исходя из качественной гипотезы, отделение существенных от второстепенных, предварительное приблизительное определение граничных условий, разменности величин, скорости их изменений при нормальном и патологическом режимах работы.

3. Планирование эксперимента — выбор нагрузок, контроль переменных на входе, причем существенные из них должны изменяться и регистрироваться, несущественные — искусственно стабилизироваться.

4. Создание, монтаж и накладка комплекса аппаратуры с определением ее точности.

5. Проведение серии пробных опытов для грубого выяснения приемлемости принятых допущений. Основное требование — получение повторяющихся результатов при одинаковых режимах. Если это удастся, то значит, что все существенные входы учтены и получен стабильный режим, если нет — следует искать дополнительные существенные входы либо изменить режим нагрузок, чтобы «последствие» предыдущего опыта не сказывалось на последующем. Если, несмотря на все это, повторяющуюся картину получить не удастся, необходимы новые статистические данные, на основании которых можно будет вывести вероятностные закономерности. Это означает, что наша гипотеза несовершенна и мы не учитываем каких-то важных зависимостей.

6. Только после этого проводится основная серия опытов с целью получения характеристик.

7. Важнейшим этапом является математическая обработка результатов. При правильно поставленных экс-

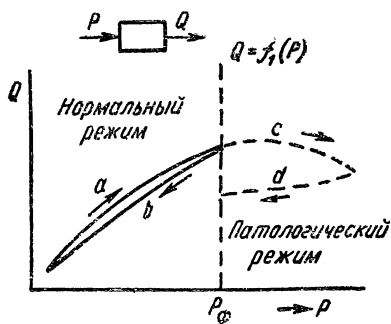


Рис. 22. Статическая характеристика органа.

В пределах физиологических нагрузок, пока вход не превышает величины P_{ϕ} , удается получить повторяющиеся кривые при повторных экспериментах линий a и b . При перегрузках органа возникает патологический режим, когда повторяемость данных получить не удается (линия d отличается от c).

периментах, когда учитывается множество факторов, обязательно очень большое количество исходной информации в виде таблиц, лент с кривыми. Для обработки их и получения формул нужно использовать ЭВМ. В наилучшем варианте для ввода информации в машину применяются специальные преобразователи, представляющие все показатели в цифровом виде. В результате всего цикла исследований выводятся характеристики в виде алгебраических или дифференциальных уравнений либо в упрощен-

ном виде — в кривых и таблицах.

Хотя исследования в биологии или, скажем, в социологии совершенно различны по своему характеру, но общий порядок их и необходимые условия приблизительно одинаковы.

На рис. 22 показана упрощенная статическая характеристика органа. В пределах нормальных величин входа P имеется повторяемость кривых a и b . При чрезмерных величинах P наступает патологический режим,

и изменение значения Q происходит по неповторяющимся кривым. Динамическая характеристика выражена дифференциальным уравнением. При определенном режиме нагрузки P уравнение функции превращается в $Q=f_2(t)$ (при $P=P_0$), где P_0 —постоянная нагрузка, Q_0 —постоянная функция, Δt —задержка начала функции (сдвиг фаз), рис. 23).

При эвристическом моделировании характеристики элементов задаются произвольно, исходя из принятой гипотезы и качественных данных, накопленных наукой.

После уточнения схемы и характеристик элементов модель готова для исследования.

Разумеется, характеристики весьма усложняются в случае, когда функция зависит от многих входов. Аналитическое выражение их получить трудно, и нужно пользоваться упрощенными формулами, что вполне допустимо, если учесть приблизительность исследований и вероятностный характер результатов, поскольку в живых системах никогда не удастся учесть все факторы.

Исследование модели начинается с определения устойчивых статических режимов. Для этого задаются не-

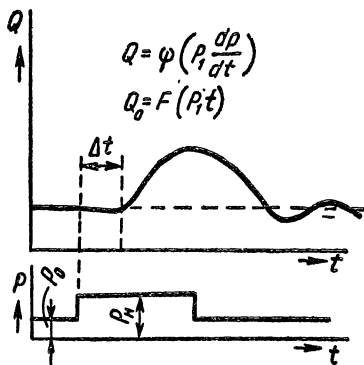


Рис. 23. Динамическая характеристика органа при одном режиме нагрузки P_n .

Внизу показана кривая изменения входа P во времени, вверху — изменение входа Q в том же масштабе времени, P_0 —постоянная нагрузка, Δt —время задержки после изменения режима нагрузки.

которые постоянные внешние воздействия, при которых нужно определить функции всех элементов. Задача сводится к решению большой системы алгебраических уравнений со многими неизвестными. Математики разработали для этого методики с использованием ЭВМ. Нужно задать какие-то значения для каждой функции, а затем проверять, как сбалансированы входы и выходы по статическим характеристикам. Если устойчивого состояния достигнуть не удастся, следует исправлять схему и характеристики, искать неучтенные важные факторы. При эвристических моделях это не представляет труда. Разумеется, нет нужды добиваться абсолютно точного сбалансирования модели, поскольку в реальных живых системах стационарных состояний вообще не бывает, а постоянно происходят колебательные процессы на всех уровнях. Применительно к схеме, показанной на рис. 21, расчет сводится к определению выходных функций (от 1-й до 15-й) всех рабочих элементов (I—VI) при различных значениях внешнего воздействия A , но без учета времени.

Наибольший интерес представляют расчеты динамических режимов. Для этого задаются величины, точки приложения и порядок изменения во времени внешних воздействий A («возмущений», как говорят математики). Выбирается начальное состояние системы в виде одного из устойчивых режимов, полученных при предыдущих расчетах. Точный расчет представлял бы решение системы дифференциальных уравнений, однако практически для сложных моделей это невозможно, поскольку самих уравнений нет, а динамические характеристики в большинстве случаев будут задаваться приближенно. Поэтому расчет придется вести приближенно, поделив время на короткие отрезки и предполагая, что в течение каждого из них режим не изменяется.

Степень точности зависит от величины выбранных интервалов времени, которые желательнее ограничить пределами задержки функций (см. рис. 23). При удлинении интервалов не найдут должного отражения обратные взаимодействия. Сам расчет сводится к определению величины выходов $I-15$ элементов $I-VI$ (см. рис. 21) к концу каждого интервала времени, пользуясь динамическими характеристиками элементов. Объем счетной работы резко возрастает при усложнении схемы, особенно если учитывать различные «уровни памяти», столь характерные для живых систем. Исследование сложных моделей представляет собой специальную задачу для квалифицированных вычислителей и программистов, поскольку без ЭВМ вручную можно рассчитать лишь простенькие модели.

По такому же типу производятся расчеты неустойчивых, патологических режимов; в этом случае вместо нормальных нагрузок задаются патологические и в расчетах используются соответствующие характеристики.

Нам представляется, что метод «сетевых моделей», которые неправильно называют нейронными сетями, позволяет воспроизводить «действующие» модели любых систем. Это зависит от того, известны ли логические связи, можно ли получить характеристики элементов и удастся ли в допустимое время произвести расчеты.

Не следует думать, что метод моделирования и наличие машин уже предопределяют возможность создания хороших моделей клетки, организма или общества. На этом пути стоят серьезные препятствия.

1. Прежде всего наука еще не располагает сведениями о тонкой молекулярной структуре живых систем. Существующие методы не позволяют прямо видеть структуру из молекул, а косвенные методы, предложенные для этой цели, несовершенны. Следовательно, поне-

воле приходится начинать моделирование с более высокого уровня, даже если при этом утрачивается наиболее ценная информация.

2. Пока что в нашем распоряжении нет количественных характеристик живых объектов. Такие науки, как физиология или психология, существуют давно и накопили массу фактов, гипотез, теорий, однако использовать их практически для целей точного моделирования невозможно. Вся эта информация носит качественный характер и в большей своей части противоречива. Для того чтобы получить характеристики клеток, органов, людей, нужно заново проделать всю экспериментальную работу по их исследованию — на новом техническом уровне. Конечно, это не значит, что накопленные ранее знания окажутся бесполезными — качественные представления и принципы исследования будут положены в основу новых опытов. Можно предположить, что в результате новых исследований наука получит не только количественное выражение старых представлений, но во многом изменятся ее основы.

Работа по получению характеристик — огромна, требует много времени и средств. Однако без нее не обойтись.

3. Расчеты сложных моделей, особенно динамических режимов, требуют огромной работы, так как приходится пересчитывать изменение функций каждого элемента через короткие интервалы времени. Хотя машины обладают практически неограниченной памятью, но это внешняя память, с малой скоростью выборки и медленным вводом в оперативную память. При большой модели, состоящей из нескольких тысяч элементов, расчеты будут отнимать массу времени, вследствие чего результаты их утратят ценность.

4. Еще не решен вопрос о переработке словесной ин-

формации в образную или в структурно-функциональную. Это очень важно, так как словесный язык и впредь останется основным средством общения между людьми. Суть дела заключается в том, чтобы создать программы воспроизведения структурных образов по описаниям так, как это осуществляется в коре головного мозга. Это возможно, хотя и трудно, главным образом в отношении образования абстрактных понятий.

5. Специалисты в области наук, изучающих сложные системы, недостаточно владеют языком математики и кибернетики.

Все эти препятствия весьма значительны, и поэтому нельзя рассчитывать на скорое получение «действующих» моделей сложных систем, удовлетворительно демонстрирующих их основные функции. Но уже можно наметить несколько направлений для работы, которая приблизит это время.

Важнейшее из них мне представляется в виде эвристического моделирования, призванного уменьшить трудности, связанные с медленным получением характеристик. Специалисты уже теперь имеют качественные гипотезы о деятельности изучаемых ими систем, и нужно попытаться воплотить их в структурные модели, не ожидая, пока будут получены формулы и числа, точно отражающие деятельность каждого элемента. Опыт и интуиция специалистов помогут им приблизительно задать недостающие характеристики, ориентируясь на имеющиеся разрозненные данные. Тогда уже можно создать модель и исследовать ее «поведение», сравнивая с системой-оригиналом. В ходе опытов следует вносить исправления в заданные характеристики, постепенно подгоняя модель к системе и не производя кропотливых экспериментов по снятию характеристик (зачастую их еще невозможно провести). Эвристиче-

ская модель может дать новое направление экспериментальным исследованиям и позволит избежать ненужной работы. Если угодно, такая модель — временный вид гипотезы. Эвристика и опыт будут двигаться навстречу друг другу.

Второе направление работы — совершенствование вычислительных машин. Уже создаются машины с параллельным счетом по нескольким каналам, есть идея соединять несколько машин в одну установку, чтобы иметь возможность переработать больший объем информации. Кроме того, появляются «гибриды» цифровых и аналоговых машин, которые, вероятно, будут хороши для моделирования сложных систем. Элементы можно представлять в виде сравнительно простых аналоговых устройств, а их выходы направлять в цифровые.

Наконец, очень важным шагом должно быть создание «искусственного интеллекта» — эвристической модели, отражающей «смысловую» (в отличие от «эмоциональной») программу переработки информации мозгом. Именно на такой модели решится вопрос о переработке словесной информации. Это еще не будет «модель личности» в полном смысле слова с программами творчества и воли, но она уже сможет взять на себя значительную долю труда по переработке научной информации. Это важно, если учесть, что поток специальной литературы растет с каждым годом подобно лавине.

Не следует думать, что метод моделирования заменит традиционные пути научного исследования — творчество, создание новых гипотез, поиски новых методов исследования с использованием физики, химии, техники. В конечном итоге без этого нет надежды получить новую первичную информацию, а ведь модели только ее перерабатывают. Другое дело, что кибернетика позволяет изменить саму методику опытов и извлечь из

них больше информации. Если нельзя согласиться с учеными, предлагающими вначале накопить факты в соответствующей области знания, а потом привлечь математиков для их обработки на машинах, то столь же ошибочным является мнение о примате математики в прогрессе всякой науки. Получение и переработка информации одинаково важны и должны развиваться одновременно.

УПРАВЛЕНИЕ СЛОЖНЫМИ СИСТЕМАМИ

Управление представляет собой воздействие на систему с целью перевести ее из одного состояния в другое. Тем самым предусматривается, что есть объект управления и есть управляющая система, в которой имеются модель объекта в его данном состоянии и модель того состояния, которое нужно достигнуть, а также модели методов воздействия и изменений объекта под их влиянием. Наконец, есть средства восприятия объекта — рецепторная и информационная системы.

Все это выглядит очень просто и логично, пока речь идет о сравнительно несложных системах, например машинах. Иное дело — сложные системы «типа живых».

Главная беда — в недостаточности информации. Нет точных моделей данного состояния, недостаточны методы наблюдения за изменением объекта, нет ясного представления о механизмах (программах) изменений в объекте под влиянием управления. Разумеется, и ассортимент самих воздействий ограничен. Наконец, часто даже неясна цель управления, то есть модель конечного состояния объекта. Во всяком случае эта модель представляется слишком обобщенной, качественной. Пока еще управляющая система с ее моделирующими воз-

возможностями сама по себе менее сложна, чем объект управления, и принципиально не может составить очень точную его модель.

И все же нельзя признать задачу управления безнадежной. Практика убеждает нас в этом постоянно. Врач лечит больных, учитель воспитывает детей. Достаточно приблизительных управляющих воздействий, если они направлены более или менее правильно, чтобы система сама подрегулировала неточности за счет присущей ей способности к саморегуляции. Кроме того, успешности управления помогает одно важное качество — обратные связи. Если управляющее воздействие не оказало ожидаемого эффекта, его нужно исправить, изменить либо вообще отменить. Однако даже при этих условиях неточное управление непременно скажется, если объект находится в «трудном» состоянии, когда собственные саморегулирующие системы его несовершенны. Пример — больной в крайне тяжелом состоянии. Именно тогда медицина оказывается бессильной. Таково положение и с другими сложными системами.

Следовательно, нужен не беспочвенный оптимизм, а поиски методов более точного моделирования, которые расширят пределы управления.

Итак, есть объект I (рис. 24) — сложная система, находящаяся в состоянии A , которое представляет собой набор структурных и функциональных деталей $a, б, в \dots и$. У объекта своя «история», которая наряду с внешними воздействиями (в том числе и управляющими) в некоторой степени определяет возможные будущие состояния. Иначе говоря, есть программы изменений объекта I . Чем выше уровень сложности системы (клетка, организм, человек, общество), тем больше неопределенности в программах вследствие присущего ей качества самоорганизации — творчества.

С другой стороны, есть управляющая система II, которая имеет возможность оказывать на первую систему управляющие воздействия в том или ином масштабе.

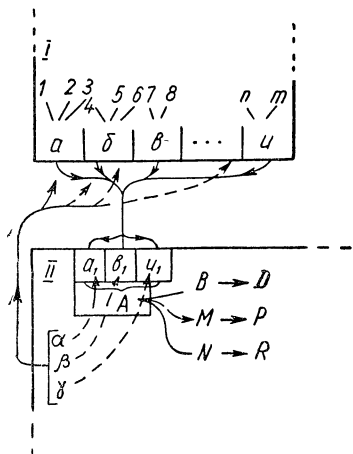


Рис. 24. Условная схема, иллюстрирующая управление.

Вверху представлена некая сложная система I, состоящая из подсистем $a, b, v \dots u$, каждая из которых в свою очередь состоит из элементов $1 \dots 8 \dots n \dots m$. Внизу показана схема управляющей установки II, в которой имеется упрощенная модель системы I в виде элементов a_1, v_1, u_1 , в целом представляющих состояние A. В памяти системы заложены программы изменения модели во времени в нескольких вариантах: $A \dots B \dots D$ или $A \dots M \dots P$, в зависимости от управляющих воздействий α, β, γ , направленных на элементы a, v, u . Линиями и стрелками показано движение информации — обратная связь и направления управляющих воздействий.

При этом совсем не обязательно, чтобы эта система была сложнее или «умнее» первой. (Как уже говорилось, слово «умнее» означает, что система содержит больше моделей и большее количество высоких смысловых этажей).

Управляющая система II имеет в своей моделирующей установке модель объекта I в виде упрощенного набора букв a_1, v_1, u_1 и столь же упрощенную программу их возможных изменений в будущем. Кроме того, она содержит модели управляющих воздействий α, β, γ , предназначенных влиять на буквы a, v, u , в результате чего последние перейдут в a_1, v_1, u_1 в соответствии с це-

лями управления — перевести объект в состояние B ($A \rightarrow B$).

Эта цель задана управляющей системе извне либо создана внутри в процессе творчества, и последняя имеет определенную энергию, которая является стимулом для реализации цели. Именно эта энергия движет управляющей системой II даже в случае сопротивления объекта. Энергия может черпаться в собственных врожденных, привитых воспитанием или созданных творчеством программах деятельности управляющей системы.

Первый этап управления — составление программы воздействия в воображении, в планах. Второй — реализация планов. Есть много вариантов жесткости управления — от полного отсутствия обратных связей, когда программа воздействий осуществляется без всякого учета ее реального эффекта, до чрезмерного усиления обратных связей. В этом случае управление тоже может оказаться неэффективным, так как обратный сигнал от объекта, показывающий неполное совпадение реального эффекта с предполагавшимся, оказывается чрезмерно сильным и расстраивает дальнейшее управление — возникает необходимость в поспешной смене программы управления либо всяком его прекращении. Нужно выбрать оптимум жесткости управления между настойчивостью проведения задуманной программы и готовностью изменить ее, если эффект рассогласовывается с предположениями на какую-то определенную величину. Для этого должно быть достаточно «запасных» вариантов. Следует помнить: сложные системы тем и отличаются от простых, что всегда предоставляют *множество* возможностей перевести систему из одного состояния в другое. Чем сложнее система, тем больше таких путей, и никогда не следует какой-либо один избранный объявлять единственно возможным.

Немало трудностей в управлении создается ограниченностью «познавательных возможностей» управляющей системы и ее субъективностью. В результате — примитивные и искаженные модели настоящего состояния, еще менее точные — будущего. Если еще добавить высокую «энергию» управления и недостаточность обратных связей, то конечный эффект будет плачевным.

Особенно трудные условия для управления создаются в случаях, когда управляющая установка является частью самой системы. Конечно, это имеет место в каждой сложной системе, в которой можно условно выделить управляющие и рабочие этажи. В данном случае мы говорим о наиболее сложных системах типа психики и общества, когда не существует врожденных программ управления, как это присуще клетке или организму. Конечно, какие-то общие критерии есть и здесь, например, для самовоспитания — получить максимум удовольствия через собственную деятельность, а для общества — обеспечить такое удовольствие гражданам (иногда — только правителям). Особенностью является то, что модель будущего состояния неясна, многолика и изменяется в процессе достижения цели, и то, что так же меняются элементы, выполняющие управление.

Рассмотрим этот вопрос применительно к самовоспитанию и управлению обществом (см. стр. 82).

Нужно особо отметить последние замечания об изменениях моделей и программ в процессе выполнения. Дело в присущей высшим системам способности к сильной тренировке (усилению) некоторых структур, представляющих модели. Это усиление может превратиться, при слабости обратных связей, в патологическое, когда все модели настоящего и будущего состояний системы окажутся значительно искаженными. У человека это кончается психическим заболеванием.

	Человек—самовоспитание	Общество—управление
Модели настоящего состояния	В коре головного мозга, как проявление сознания. Ограничены и субъективны, зависят от чувств. Оценки связаны с общественными идеалами и прямыми оценками окружающих	В коре головного мозга граждан, в книгах. Однородны у единомышленников. Ограниченность и субъективность их определяются положением в обществе, «умом». Большое разнообразие в оценках («хорошо»—«плохо»), а следовательно, различна энергия стимулов к изменению
Модели будущего	Идеалы в разных вариантах, привитых образованием и наблюдением общества, а также творчеством	Разные варианты общества, придуманные людьми различных общественных групп,— от сохранения данного до крайних идеалов. В основе их — представления о природе человека и мифы
Программы достижения будущего	Тренировка воли, то есть моделей идеалов и управления. Изменение моделей в процессе самовоспитания	Большое разнообразие программ управления, прорабатываемых в воображении и выражаемых в книгах. Борьба за власть в различных вариантах. Реализация планов достижения идеалов путем управления с разной степенью жесткости. Изменение всех моделей и самих исполнителей

Ограниченность, субъективность и увлекаемость — эти качества человеческого мышления, переходящие и на общество, затрудняют обеспечение оптимального и устойчивого управления сложными системами. Для осуществления последнего нужны действующие модели,

нужны машины. Хотя им тоже присущи первые два качества, потому что они заложены в самой природе выделения информации, но, по крайней мере, можно избежать увлечений. Правда, и это еще вызывает сомнения, поскольку сложной модели необходимо самообучение, а следовательно, изменение первоначальных программ. Однако его можно регламентировать.

Вычислительные машины уже применяются в различных сферах управления. Можно полагать, что по мере их усовершенствования использование это будет становиться все более широким и разнообразным во всех сферах, где принятие решений связано с переработкой большого объема информации. Здесь мыслимы два направления использования машин: получение наивыгоднейших алгоритмов управления и реализация их. Первую задачу можно решать, исследуя модели сложных систем при разных внешних воздействиях и внутренних отношениях. Например, применительно к медицине это выражается моделированием патологических процессов на машинах и выбором «лечебной тактики» в виде воздействий на те или иные органы и функции с целью выяснения наилучшего метода. Причем только «действующая» модель позволяет учесть динамику многочисленных прямых и обратных связей в сложной системе.

Избрав наилучший алгоритм управления, можно приложить его к реальной системе, используя современные технические средства воздействия и их коррекции под влиянием обратной связи. Вполне возможна и более сложная комбинация, когда управление реальной системой осуществляется с использованием ее модели: каждый следующий шаг управления вначале «проигрывается» на модели, затем переносится на объект, далее по обратным связям вносятся изменения в модель и следующий шаг снова проверяется на уже «подогнанной» к

новому состоянию модели. Например, так можно создать управление аппаратом искусственного кровообращения с целью охлаждения организма для произведения сложной операции. Изменяются различные параметры: производительность, температура, состав и количество газовой смеси, объем крови, дозируются некоторые лекарства — все по определенному алгоритму. Однако управление не может быть жестким, поскольку нельзя полностью предусмотреть реакцию организма, поэтому дозировка управляющих воздействий во времени должна согласовываться с состоянием организма в процессе охлаждения.

Такой же принцип можно применить к управлению экономикой страны, как предлагает академик В. М. Глушков. На специальной модели вырабатывается оптимальный план с различными степенями дифференцировки, затем он реализуется под контролем обратных связей. Систематически поступают сведения о выполнении плана, и в зависимости от этого периодически производится корригирование его с таким расчетом, чтобы некоторые критерии управления (например, снабжение населения) не выходили из заданных пределов.

В конце концов все управление сводится к поддержанию постоянства некоторых критериев. Это одинаково относится к организму, предприятию, целой стране. Вся беда в том, что когда управляемая система достигает определенной сложности, критерии не остаются постоянными, а в результате процессов творчества (самоорганизации) изменяется сама структура системы. Это не позволяет предусмотреть долгосрочное управление. Так, нельзя спланировать экономику на много лет вперед, поскольку за это время появятся новые изобретения, которые обусловят изменение всей технологии производства, могут измениться потребности граждан в ре-

зультате сложных процессов в сфере идеологии, искусства, науки. Конечно, это не компрометирует метод использования моделей в управлении, а лишь снижает ценность долгосрочных прогнозов, основанных на их исследованиях. Если своевременно вносить поправки в модели по мере накопления качественных сдвигов в системе, управление будет всегда близко к оптимальному.

По всей вероятности, модели можно использовать и при управлении обществом. Для этого сначала нужно избрать критерии для оценки различных общественных систем, затем создать их эвристические модели, а потом рассчитывать поведение систем при различных условиях, с тем чтобы в результате рекомендовать наилучшую модель. Если удастся получить доказательные данные, тогда нужно перестраивать систему по выбранному образцу с предварительным моделированием переходного процесса и постоянным корригированием модели в ходе реализации плана перестройки системы.

Конечно, каждый из перечисленных пунктов представляет собой трудную задачу. Например, выбор критериев оптимальности общества. На мой взгляд, можно было бы предложить: максимальное счастье граждан, устойчивость, то есть сохранение благополучия на будущее, способность к прогрессу. Если рассматривать систему в пределах одной страны, могут понадобиться и другие критерии. Конечно, понятие «счастье» весьма расплывчато, его можно конкретизировать лишь на основании психо-физиологических и психо-социологических исследований. Они должны дать обобщенные характеристики людей: как различные внешние воздействия (входы) влияют на выходы — работу для общества, для себя, удовлетворение потребностей, отдых, лень и т. д., и в конечном итоге — на счастье (интегральные величины «приятного» и «неприятного»). По-

лучение таких характеристик, в которых были бы отражены и возможности воспитания, — не безнадежная задача. Имея элемент системы — человека, располагая данными об уровне техники, определяющей производство вещей, можно конструировать различные схемы социальных и экономических отношений с разными системами управления. Идеологические основы систем находят отражение в характеристиках людей — какие им привиты принципы морали и этики, и в самой структуре системы — в экономике, органах управления, партиях.

К сожалению, такие модели грешат все тем же недостатком: в них нельзя предусмотреть принципиально новые научные открытия, что-то вроде средств управления эмоциями для создания искусственного интеллекта, способного быть на уровне творческой энергии людей. Но такие открытия совершаются не столь уж часто, а вопрос об оптимальном обществе всегда останется актуальным, при любом уровне науки.

Разумеется, не следует преувеличивать значение для управления метода моделирования сложных систем. До тех пор пока характеристики элементов — человека, органа или клетки — остаются лишь весьма приблизительными, а составление структуры модели отражает субъективный подход, полученные при исследовании модели результаты должны оцениваться с осторожностью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Я убежден, что «действующие» модели — язык науки будущего. Он поглотит и оживит существующие языки — речь, графику, математику. Он будет универсальным средством описания систем — для обобщения, для выражения частных зависимостей.

Но для реализации этого предстоит еще очень многое сделать. Прежде всего нужно разработать общую методику расчета сложных сетевых моделей с помощью ЭВМ. Создать типы сетей, типовые характеристики, стандартные программы для их выражения. Учитывая огромный объем перерабатываемой информации, нужно рассчитывать в будущем на более совершенные машины и комплексы из них с единым управлением.

Вторая задача состоит в получении характеристик элементов: клеток и органов — для моделей организма, людей — для моделей общества. Это потребует почти полной перестройки экспериментальной биологии, физиологии, психологии, создания новых кибернетических аппаратурных комплексов для получения и анализа информации.

Для такой работы нужны десятилетия, и нельзя ожидать ее окончания, чтобы только потом начинать создание моделей организма, психики или общества. Нужно моделировать гипотезы — создавать эвристические модели, постепенно исправляя заданные характеристики по мере получения их в экспериментах и в результате сравнения поведения модели с объектом. Постепенно появятся частные модели, точно отражающие отдельные структуры и функции сложных систем.

Эвристические модели нужно использовать для целей управления как в смысле получения оптимальных алгоритмов, так и для реализации их на практике.

Работа по составлению моделей требует привлечения больших сил и технических средств. Нужна совместная работа специалистов, знающих логику своих систем, инженеров и математиков, способных воплотить эту логику в модели. По-моему, это и есть самая общая задача кибернетики.

СОДЕРЖАНИЕ

НЕКОТОРЫЕ ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ КИ- БЕРНЕТИКИ	3
РАЗВИТИЕ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ	20
МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ	57
УПРАВЛЕНИЕ СЛОЖНЫМИ СИСТЕМАМИ	77
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	86

Николай Михайлович Амосов

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Печатается по решению Редакционной коллегии
научно-популярной литературы Академии наук УССР

Редактор С. М. Хазанет
Художественный редактор В. П. Кузь
Оформление художника И. М. Балюна
Технический редактор И. М. Галушко
Корректор Л. О. Бельская

БФ 01028. Зак. № 456. Изд. № 679. Тираж 20 000. Бу-
мага № 1, 70×1081/32. Печ. физ. листов 2,75. Услови.
печ. листов 3,85. Учетно-изд. листов 4,41. Подписано
к печати 5.II 1968 г. Цена 15 коп.

Издательство «Наукова думка»,
Киев, Репина, 3.

Типография № 5 Комитета по печати при Совете
Министров УССР, Киев, Репина, 4.

Цена 15 коп.

«НАУКОВА ДУМКА»