

ОБЩЕСТВО ПО РАСПРОСТРАНЕНИЮ  
ПОЛИТИЧЕСКИХ И НАУЧНЫХ ЗНАНИЙ РСФСР  
Ленинградское отделение

А. В. ТУЛУБ

# КИБЕРНЕТИКА

ЛЕНИНГРАД  
1957

ОБЩЕСТВО ПО РАСПРОСТРАНЕНИЮ  
ПОЛИТИЧЕСКИХ И НАУЧНЫХ ЗНАНИЙ РСФСР

Ленинградское отделение

---

А. В. ТУЛУБ

# КИБЕРНЕТИКА

ЛЕНИНГРАД

1957



## ВВЕДЕНИЕ

Под кибернетикой понимают научное направление, возникшее в результате математического исследования процессов управления и связи в автоматических машинах и живых организмах. Слово «кибернетика» происходит от греческого «кибернос» — рулевой, кормчий.

Кибернетика возникла в первые годы после окончания второй мировой войны главным образом в связи с созданием новых гигантов вычислительной техники — быстродействующих электронных счетных машин. К этому же времени был накоплен богатый, но в значительной степени разрозненный материал и по другим вопросам управления и связи: теории саморегулирующихся систем, теории передачи сигналов по принципам управления в живом организме.

Суммируя различные точки зрения на управление и связь, выдающийся американский математик Н. Винер сделал попытку дать общую теорию этих вопросов — кибернетику. Впервые он изложил последовательно свои взгляды в книге «Кибернетика, или управление и связь в животном и машине», появившейся в 1948 году. В создании и развитии кибернетики участвовали математики, физики, инженеры, врачи, лингвисты. Такое содружество ученых различных профессий необходимо для решения целого ряда задач кибернетики.

Кибернетика — это математическая теория. Особенно широко она использует теорию вероятностей и дифференциальные уравнения. При разработке отдельных вопросов были привлечены и более абстрактные математические методы, как например, математическая логика. Большой вклад в развитие этих математических дисциплин внесли

работы выдающихся русских и советских математиков А. А. Маркова, А. Н. Колмогорова, Н. Н. Боголюбова. Важные результаты по общей теории связи были получены еще до появления кибернетики В. А. Котельниковым. Строгое математическое исследование теории информации было дано А. Я. Хинчиным. В Америке в создании кибернетики принимали участие Розенблют, Шэннон и др.

Математический характер теории определяет и стиль исследования: «Чистая математика имеет своим объектом пространственные формы и количественные отношения действительного мира, стало быть — весьма реальный материал. Тот факт, что этот материал принимает чрезвычайно абстрактную форму, может лишь слабо затушевывать его происхождение из внешнего мира. Но чтобы быть в состоянии исследовать эти формы и отношения в чистом виде, необходимо совершенно отделить их от их содержания, оставить это последнее в стороне как нечто безразличное. . .»<sup>1</sup>.

Поэтому если в кибернетике разбирается вопрос об автоматическом регулировании, то в задачу исследования не входит анализ работы отдельных механизмов и обсуждение технических деталей вопроса. Рассматривается целый класс машин, имеющих одинаковую принципиальную схему (одинаковые скелетные графики), и в «чистом» виде решаются задачи, временно «отделенные от содержания».

С тем же подходом мы встречаемся в теории передачи сведений по каналу связи. Некоторые вопросы, как, например, теория наиболее выгодного кодирования сообщений, могут быть решены в общем виде, без указания на то, каким видом связи мы будем пользоваться — телеграфом, радио или телефоном.

Такая постановка задачи дает возможность рассматривать под определенным углом зрения и работу живого организма, проводить аналогии между вычислительной машиной и мозгом человека.

Нерв человека и провод могут передавать сигналы, нервная клетка и электронное реле могут находиться лишь в двух состояниях. Если сосредоточить внимание только на этих вопросах, оставив все остальное — «в стороне, как нечто безразличное», то их функции эквивалентны. Но

---

<sup>1</sup> Ф. Энгельс Анти-Дюринг. Госполитиздат, 1948, стр. 37.

нелепо было бы утверждать тождественность или почти тождественность нервной клетки и электронного реле, вычислительной машины и головного мозга, основываясь на совпадении одного или нескольких свойств. Если мы возьмем два треугольника с равными сторонами, то, как утверждает геометрия, они будут равны между собой. Но за этими абстрактными треугольниками кроются реальные вещи, и если они равны в геометрическом смысле, то во всех прочих свойствах они могут быть различны: иметь различный цвет, сделаны из различных веществ и т. п. Сопоставление отдельных свойств предметов, тем не менее, оказывается весьма полезным. Поэтому естественно, что кибернетика проводит в известных пределах параллель между машиной и организмом. При этом лишь нужно помнить, что, конечно, всякая модель будет односторонней и потому не полной. Вопрос же о практической пользе такой аналогии связан скорее с удачным выбором модели. Модельные представления широко используются в научных исследованиях. Так, атомное ядро пытались представить в виде газа, в виде жидкости, хотя все понимают, что оно не является ни тем ни другим. Исходя из таких моделей удавалось, однако, объяснять ряд экспериментальных фактов.

Кибернетика принадлежит к числу молодых научных направлений, поэтому круг вопросов, которыми она должна заниматься, очерчен недостаточно четко. Различают в основном три направления:

1. Теория информации и общая теория связи.
2. Теория автоматического управления и теория обратной связи.
3. Теория быстродействующих вычислительных машин.

Во втором и третьем разделах, кроме того, рассматриваются вопросы физиологии.

## ТЕОРИЯ ИНФОРМАЦИИ

Под информацией понимают сведения о каких-либо событиях; при этом предполагается, что заранее неизвестно, какое именно произойдет событие из числа мысленно возможных. Положим, например, что мы подбираем кубик, грани которого перенумерованы. При его падении наверху может оказаться любая цифра — от единицы до шести. Сообщение о появлении наверху какой-

либо из цифр в данном примере представляет информацию. Теория информации, таким образом, имеет дело со случайными явлениями, и ее можно считать одним из разделов теории вероятностей.

Крупнейшей заслугой кибернетики надо считать использование величины, характеризующей информацию в количественном отношении. Мету информации можно установить исходя из следующих соображений. Количество информации не может быть связано с величиной энергии, затрачиваемой для передачи сообщения, так как одни и те же сведения можно передать с помощью прожектора и с помощью карманного фонаря, сообщить крича во весь голос и шепотом. Для определения количества информации, переданной в сообщении, также недостаточно знать только число элементов (например, число слов) в сообщении. Действительно, можно представить себе крайний случай, когда все сообщение заключается в повторении одного и того же слова. Ясно, что чтение такого текста не представляет интереса, количество информации необходимо считать в этом случае равным нулю. Поэтому количество информации надо связать не только с числом элементов (слов) в сообщении, но и с «ценностью» каждого элемента: чем больше может быть разнообразия в каждом элементе сообщения, тем больше неопределенности до получения информации, тем большее количество информации заключено в каждом таком элементе, поскольку информация разрушает исходную неопределенность. Рассмотрим выражение для количества информации в простейшем случае, когда передаются независимые одно от другого сообщения, вероятности появления которых равны между собой. Если мы вернемся к примеру с кубиком, то при повторном бросании его снова могут появиться цифры от одной до шести, а полное число возможных комбинаций цифр, как в этом не трудно убедиться, будет равно  $6^2 = 36$ . При этом в сообщении будет содержаться два элемента. Скажем, цифры 1; 3 означают, что первый раз появилось число 1, а второй — 3. При  $n$ -кратном бросании число возможных сообщений будет равно  $6^n$ . В более общем случае, когда возможно  $m$  равновероятных независимых событий, полное число комбинаций  $N$  равно:

$$N = m^n$$

Количество информации можно связать с величиной  $N$ . При этом естественно наложить требование, чтобы приращение количества информации (при заданном  $m$ ) было бы пропорционально  $n$ . Например, вдвое более длинная телеграмма содержит вдвое большее количество информации. Таким свойством обладает логарифм. Поэтому количество информации  $I$  целесообразно определить как

$$I = \log_a N$$

По ряду причин основание логарифма удобно положить равным двум. Тогда формула примет вид:

$$I = \log_2 N$$

Так, если  $N = 2^4 = 16$ , то  $I = 4$ . Это обстоятельство можно пояснить следующим примером. Предположим, что у нас имеется 16 пронумерованных спичечных коробок, одна из которых пустая. Требуется сообщить, какая именно. Простейший способ решения этой задачи заключался бы в том, что, беря каждую из коробок по очереди, мы передавали бы: первая коробка — полная, вторая — полная и т. д. Возможно, что нам бы и повезло и пустая коробка попала бы под руку в числе первых, но она могла бы оказаться и последней; тогда пришлось бы шестнадцать раз передавать сообщения. Можно пойти и по другому пути. Имеющиеся коробки делим пополам и определяем по какому-нибудь признаку (например, взвешивая), имеется ли во взятой половине пустая коробка или нет. Это первая информация. Беря, далее, интересующую нас половину, повторяем ту же операцию и получаем последовательно, что пустая коробка будет одной из 4, 2, 1. Всего будет передано четыре сообщения.

Выбор из двух равновероятных возможностей ( $m = 2$ ,  $n = 1$ ) несет в себе единицу количества информации или, как говорят, двоичную единицу информации. Далее, если в результате опыта могут появиться независимо одно от другого события  $A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_m$  с вероятностями  $p_1, p_2, \dots, p_i, \dots, p_m$ , то можно показать, что количество информации в этом случае следует определить согласно

$$I = -n \sum_{i=1}^m p_i \log_2 p_i,$$

где через  $n$  обозначено по-прежнему число элементов в сообщении.



Можно определить количество информации для того случая, когда появление одного события влияет на вероятность появления другого, и обобщить эти формулы для непрерывного распределения вероятности.

Остановимся на некоторых свойствах приведенного выражения для количества информации. Во-первых, при передаче достоверного сообщения (в этом случае все вероятности, кроме одной, обращаются в нуль) мы получаем  $I = 0$ , то есть тот результат, которого мы и должны были ожидать. Далее, ясно, что наиболее неопределенной будет

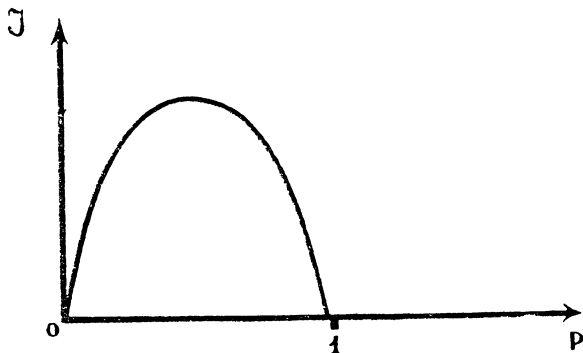


Рис. 1

та ситуация, при которой мы не можем заранее дать предпочтение какому-либо одному событию (все вероятности равны между собой). В этом случае каждый элемент в сообщении несет в себе максимальную информацию. Приведенная формула отражает и этот факт. При  $p_1 = p_2 = \dots = p_m = \frac{1}{m}$  величина  $I$  обращается в максимум, причем  $I = \log_2 m^n$ . Наконец, количество информации является непрерывной функцией от значений  $p_i$ . Если число возможных результатов испытания равно двум, зависимость количества информации от вероятности  $p$  появления одного из событий (вероятность появления другого равна  $1 - p$ ) имеет следующий вид (рис. 1).

Таким образом, мы видим, что наиболее вероятные сообщения несут в себе меньшее количество информации, чем менее вероятные. В статистической физике вводится особая функция — энтропия, максимум которой соответ-

ствуется наиболее вероятному состоянию системы. Количество информации связано с энтропией. В кибернетике энтропия, как мера хаоса, дезорганизованности, используется для количественной характеристики самых разнообразных явлений. Можно, например, говорить об энтропии музыкальной фразы. Мелодичное сочетание звуков обладает определенной структурой, и их энтропия меньше, чем у беспорядочного набора звуков.

Введение количественной характеристики информации позволяет решить ряд интересных для теории связи задач. Например, вопрос о кодировании сообщений. Задача заключается в следующем. При передаче сигнала вдоль канала связи<sup>1</sup> необходимо, чтобы в единицу времени было передано как можно большее количество информации, при том, однако, условии, что смысл текста не будет искажен. Для решения этой задачи необходимо с математической точки зрения изучить структуру языка: выяснить вопрос о вероятности появления различных букв алфавита, вероятности комбинаций букв и т. д. Тогда при составлении кода наиболее часто встречающимся буквам надо сопоставить более короткое кодовое обозначение. Такой прием позволяет повысить скорость передачи текста вдоль канала связи. Возможное сокращение текста с сохранением его смысловой стороны связано с понятием избыточности сообщения, которому также можно дать количественную характеристику. Дело в том, что следует передавать вдоль канала связи лишь то количество сведений, по которому можно восстановить оригинал. Практически же передается куда больше, чем это необходимо для понимания; поэтому возникает задача сокращения текста. К такому приему мы прибегаем, например, при составлении телеграмм. Известно также, что в славянском языке «телеграфный» метод письма был широко распространен. Сжатость письма достигалась выбрасыванием отдельных слогов из слова, что все же не мешало правильно понимать написанное. Если обратиться к английскому языку, то можно подсчитать, что если даже исключить примерно половину буквенных знаков при передаче сообщения, то текст восстанавливается полностью. Очень большой избыточностью обладают используемые в настоящее время способы телевизионной передачи. Один

---

<sup>1</sup> Канал связи — устройство для передачи сигналов

из возможных путей уменьшения избыточности заключается в использовании той же идеи, что и при составлении наиболее выгодного кода. Если заставить луч просматривать участки с одинаковой освещенностью с большей скоростью (более короткий код для часто встречающихся букв), то избыточность может быть уменьшена.

Чрезвычайно интересной в теории информации является проблема обнаружения слабых сигналов при наличии помех. Этот вопрос особо важен для радиолокации, где положение тела в пространстве определяется промежуточном времени, в течение которого излученная электромагнитная волна вернется к излучателю, отразившись от предмета. До недавнего времени считалось очевидным, что сигнал можно обнаружить лишь в том случае, если его величина больше величины помех. Присутствие же помех неизбежно, — оно связано с тем, что в любом приборе измеряемые величины (сила тока, напряжение и т. п.) испытывают флуктуации.<sup>1</sup> Математическое исследование показывает, что можно обнаружить даже очень слабые сигналы, величина которых значительно меньше помех.

Борьба с помехами, исследование способов разделения сигналов при использовании многоканальной линии связи и другие вопросы находятся в центре внимания теории информации.

В последнее время теория информации нашла применение в совершенно новой области — теории наследственности. Изучение строения наследственной информации, гипотезы о кодировании информации, передаваемой организмом родителей зародышевой клетке, физико-химическое исследование природы этого кода — вот круг вопросов, где используются математические методы исследования.

В конце упомянутой нами книги Н. Винер останавливается на значении информации для жизни общества.

Бесспорно, что любой коллектив существует как единое целое благодаря общению членов этого коллектива между собой, благодаря непрерывной передаче информации. Если мы сравним колонию муравьев со стадом обезьян, то количество понятий, количество групповой ин-

---

<sup>1</sup> Ф л у к т у а ц и я — беспорядочное изменение какой-либо величины.

формации в последнем случае будет больше. Человеческое общество обладает богатыми возможностями для передачи информации. Тем не менее, если бы мы попытались характеризовать общественный строй с помощью понятия информации, то впали бы в ошибку, пошли бы по антинаучному пути. Общество развивается по присущим ему законам, и это развитие нельзя отобразить математическими формулами. Кроме того, самое понятие количества информации вовсе не претендует на всеобъемлющую характеристику. Ведь и бессмысленный набор слов может нести такое же количество информации, как и важное сообщение!

### **АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ И ТЕОРИЯ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ**

В любом автоматическом устройстве можно указать следующие основные части. Во-первых, это сама машина, выполняющая определенные операции, которую именуют управляемым объектом. Во-вторых, регулятор, предназначенный для поддержания постоянства ряда величин (скорости, направления и т. п.), связанных с работой машины или для изменения их по определенному закону. Свою роль регулятор осуществляет, воздействуя сигналами управления на машину, от которой поступает в свою очередь информация к регулятору. Эта информация сигнализирует о работе машины и воздействует через регулятор на сигналы управления. Таким образом, регулятор является преобразователем информации. Вся цепь передачи изображена на рис. 2.

В простых механизмах обратную связь осуществляет сам человек, следя за показаниями приборов. Скажем, если шофер видит, что автомобиль идет слишком медленно, то он переключает скорость — посылает новый сигнал управления. При создании автоматического устройства функции человека должны взять на себя соответствующие механизмы; поэтому и возникает задача об исследовании систем с обратной связью. Это исследование в рамках кибернетики носит характер математического исследования скелетных схем, наподобие той, которая приведена на рис. 2. При такой постановке задачи совершенно безразлично, какой конкретный механизм стоит за словами «управляемый объект», как осуществляется

связь — по телефону, по радио, с помощью нервных клеток или флажками. Важно, что имеется передача информации от одного механизма к другому, что скелетная диаграмма имеет определенную структуру. Полученные результаты могут быть поэтому применены к большому

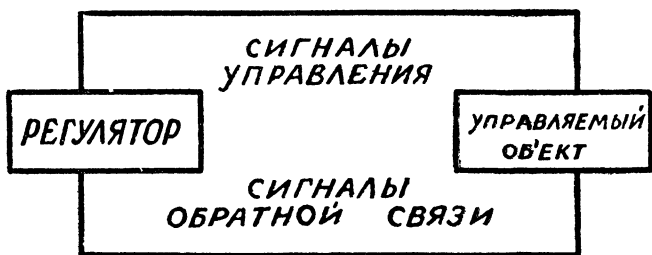


Рис. 2

классу задач, в том числе и для исследования управления в живом организме.

Приведем пример.<sup>1</sup> Предположим, что имеется вращающийся вал и задача заключается в создании устройства, которое бы поддерживало угловую скорость неизменной. Пусть  $M$  — момент инерции вала,  $c$  — коэффициент трения, а  $y$  отклонение угловой скорости от заданной величины. Вращение вала описывается следующим дифференциальным уравнением:

$$M \frac{dy}{dt} + cy = x,$$

где  $x$  вращающий момент,  $t$  — время.

Умножим левую и правую части этого уравнения на  $e^{-st}$  и проинтегрируем по  $t$  от нуля до бесконечности при условии  $Y(0) = 0$ .

В результате получим

$$(Ms + c) Y(s) = X(s),$$

где

$$X[s] = \int_0^{\infty} e^{-st} x[t] dt, \quad Y[s] = \int_0^{\infty} e^{-st} y[t] dt.$$

<sup>1</sup> Читатель, незнакомый с дифференциальным и интегральным исчислением, может без ущерба для дальнейшего опустить этот пример.

Отсюда

$$Y(s) = \frac{1}{Ms + c} X(s),$$

что схематически изображают так:

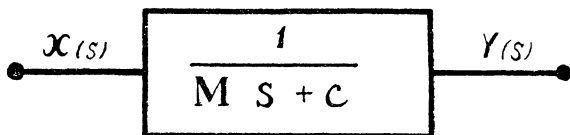


Рис. 3

$X(s)$  является поступающим сигналом (в данном случае моментом силы), а  $Y(s)$  — преобразованным (угловая скорость).

Рассмотрим теперь цепь с обратной отрицательной связью. Методы ее технического осуществления являются делом инженера-конструктора, кибернетика же интересует конечный результат: обратная связь имеется.

Существование обратной связи в исходном уравнении можно отобразить, если заменить  $x$  —  $ky$ , где  $k > 0$ . В этом случае величина момента силы зависит от значения угловой скорости, и притом так, что скорость будет автоматически поддерживаться неизменной. Действительно, если  $y > 0$  (вал вращается слишком быстро), то величина  $(x - ky)$  уменьшается, если  $y < 0$ , то увеличивается. Между функциями  $Y(s)$  и  $X(s)$  установилась следующая связь:

$$(Ms + c) Y(s) = X(s) - k Y(s).$$

Эта связь схематически изображена на рис. 4. Вторая цепь представляет обратную связь.

Рассмотренный пример показывает, что установление обратной связи привело к зависимости входящей информации от получающейся на выходе.

Обратная связь является основным элементом в любой саморегулирующейся системе. Одним из первых примеров технического применения обратной связи был регулятор Уатта. Особо велико значение таких систем в авиации в связи с автоматизацией управления самолетом (автопилот). Н. Винер указывает и на более сложные случаи обратной связи. При стрельбе по движущимся целям орудие наводится не в самую цель, а в предполагаемое ее местонахождение. В этом случае эффектив-

ность стрельбы связана с правильным учетом сложного движения цели. Жизнедеятельность организма немыслима без многочисленных цепей обратной связи. Различают систему обратной связи, регулирующую взаимосвязь организма с окружающим миром, и систему внутреннего регулирования — гомеостат. Последний управляет температурой человеческого тела, давлением крови, своевременным удалением из организма вредных веществ, количеством лейкоцитов и т. д. «Порча» отдельных цепей обратной связи ведет к болезненному состоянию организма. Известна болезнь — атаксия, — связан-

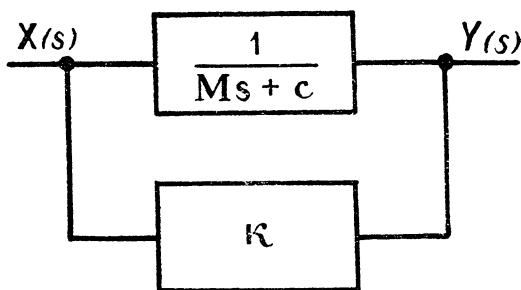


Рис. 4

ная с неправильной работой мозжечка, при которой нарушается координация движений. Болезнь может проявляться в следующем. Если больной протягивает руку к нужному ему предмету, то рука его проскакивает мимо предмета, потом возвращается назад, затем снова перемещается вперед. Начинаются колебания руки около среднего положения. Таким образом, сигналы управления в этом случае не достигают цели. Можно привести механические аналогии этой болезни.

Перейдем теперь к рассмотрению работы электронных счетных машин.

### Универсальные быстродействующие вычислительные машины

В настоящее время создано большое число быстродействующих вычислительных машин, которые используются для решения самых разнообразных математических и тех-

нических задач. Вычислительные машины предназначены не для преобразования энергии, как другие машины, а для преобразования информации. Головной мозг выполняет ту же функцию, поэтому можно сказать про быстродействующие вычислительные машины, что они являются «продолжением» мозга человека. По характеру работы эти машины делятся на две большие группы: на цифровые машины и машины непрерывного действия. Первые имеют дело с цифровыми величинами. На их работе мы вначале и остановимся. Различные машины весьма сильно отличаются одна от другой по тому кругу задач, которые могут быть решены с их помощью. Имеются машины «узкого профиля». Они могут выполнять лишь расчеты определенного типа, например решать одну и ту же систему дифференциальных уравнений с различными начальными условиями. В противоположность этому универсальные вычислительные машины, которыми, в основном, и интересуется кибернетика, используются для расчетов любого типа. Это машины-гиганты. Они занимают площадь 100—200 квадратных метров при высоте до 2 метров. На своем «вооружении» они насчитывают тысячи электронных ламп, десятки тысяч сопротивлений, потребляемая ими мощность исчисляется десятками киловатт. Не следует думать, что такие машины представляют собой нечто вроде гигантского арифмометра. Работа современных быстродействующих электронных счетных машин основана на иных принципах; поэтому и говорят, что их изобретение привело к революции в вычислительной технике. Сложность новых машин такова, что можно в известной степени провести аналогию между работой мозга человека и работой такого вычислительного агрегата. Рассмотрим принципы устройства универсальной вычислительной машины.

Первой характерной чертой является быстродействие. Советская машина «БЭСМ» (первые буквы слов «быстродействующая электронная счетная машина») производит до восьми тысяч арифметических действий в секунду. При такой скорости работы можно, например, вычислить траекторию полета снаряда быстрее, чем летит самый снаряд. Машина заменяет труд десятков тысяч вычислителей; это уже дало, как указывает созда-



тель машины «БЭСМ» акад. С. А. Лебедев,<sup>1</sup> экономии в сотни миллионов рублей. Машины типа «БЭСМ» могут в течение одной минуты возвести в квадрат все числа от одного до ста тысяч, в течение часа вычислить несколько десятков тысяч интегралов и т. д. Перед советскими конструкторами поставлена сейчас задача создать в ближайшем будущем машины, выполняющие до ста тысяч сложений и вычитаний в секунду и до двадцати тысяч умножений или делений в секунду.

Другой характерной чертой больших машин является их универсальность. Под этим понимают следующее. Одна и та же машина может решать самые разнообразные по своему характеру задачи начиная от перевода с одного языка на другой, игры в шахматы, шашки и кончая решением сложных математических задач. Для того чтобы машина могла производить вычисления, необходима большая подготовительная работа квалифицированного математика по составлению подробной инструкции (программы), которой неукоснительно следует машина при работе. При программировании все необходимые для расчета сведения преобразуются в совокупность цифр, с которыми в дальнейшем и имеет дело машина. В ходе вычисления неоднократно возникает такая ситуация, при которой следующий этап в вычислении зависит от полученного результата на предыдущем этапе. Поскольку весь процесс счета полностью автоматизирован, необходимо при составлении программы подробно указать, как должна вести себя машина в том или ином случае.

Рассмотрим, например, перевод на русский язык английских слов «for instance»,<sup>2</sup> входящих в состав какого-нибудь предложения. Перевод слова «instance» зависит от наличия или отсутствия слова «for». В первом случае оба слова переводятся как «например», во втором «instance» надо перевести как «пример». Таким образом, при переводе «instance» возникает неоднозначность, которая может быть устранена лишь путем анализа соседних слов; в данном случае необходимо выяснить вопрос о наличии «for», для чего подается соответствующая команда. На этом примере видно, что в ходе работы машине постоянно приходится выполнять определенные ло-

---

<sup>1</sup> С. А. Лебедев. Электронные вычислительные машины. Академия наук СССР, 1956.

<sup>2</sup> Д. Ю. Панов. Автоматический перевод.

гические операции. Разумеется, это делает машина не «сама по себе», а благодаря тому, что человек, составивший программу, предусмотрел возможность «ветвления решений». Из приведенного примера также видно, что автоматизация всего процесса счета невозможна без программного управления. Для цифровых вычислительных машин характерна большая точность расчета, которая возможна благодаря большому диапазону чисел (от  $10^{-10}$  до  $10^9$  для «БЭСМ»), с которыми оперирует машина. Надежность в работе также велика. Сейчас поставлена задача не допускать более одного сбоя на миллиард операций. Остановимся вкратце на основных устройствах быстродействующих электронных вычислительных машин (рис. 5).

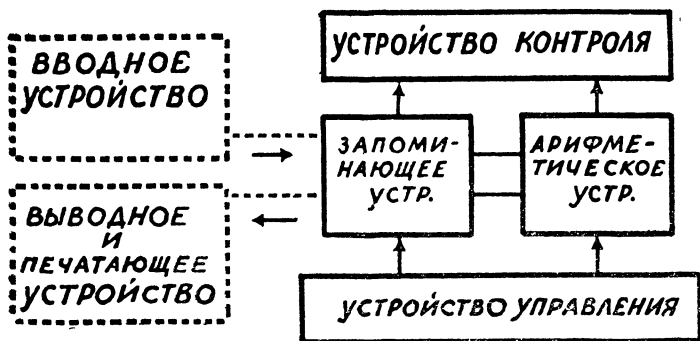


Рис. 5

Вводное устройство предназначено для ввода в машину исходных данных и предварительно составленной программы для вычисления. Все эти сведения облечены в форму цифр и записаны на магнитной ленте и магнитном барабане. Выводное и печатающее устройства служат для выдачи результатов вычисления в привычной для нас десятичной системе счисления.

Запоминающее устройство предназначено для хранения чисел и результатов промежуточных вычислений. В ходе расчета получается ряд цифр, которые не представляют сами по себе интереса, но которые машина должна держать у себя в «памяти» небольшой промежуток времени (вспомните, например, как производится сложение

«в уме» нескольких чисел). Перед решением новой задачи память должна быть «очищена» от всех предыдущих данных. В качестве запоминающего устройства используют магнитную ленту или магнитный барабан, электронно-акустические ртутные трубки, электронно-лучевые трубки. В последнем случае цифры хранятся на потенциалоносителе (диэлектрике) в виде комбинации участков, несущих отрицательный или положительный заряд. Для запоминания чисел и команд можно, кроме того, воспользоваться методом временной задержки импульсов. С этой целью можно, например, осуществить последовательное преобразование электромагнитной волны в ультразвуковую, которая, в свою очередь, снова преобразуется в электромагнитную, в результате чего импульсы начинают циркулировать в пределах одной ячейки памяти. Вопрос о хранении импульсов представляет интерес и для физиологии.

Выборка чисел из «памяти» машины, задание действия с числами, переход к следующей операции осуществляются с помощью команд, поступающих из управляющего устройства. Последнее, в свою очередь, состоит из ряда блоков, осуществляющих руководство более узким классом операций. Все действия машина сводит, в конечном счете, к сложению. Оно осуществляется арифметическим устройством, также состоящим из отдельных блоков. В ходе работы машина производит очень большое число арифметических операций. В связи с этим возникает задача контроля. Контроль может быть осуществлен в начале, в конце, а в случае необходимости — и в середине расчета, для чего машину заставляют проделать ряд вычислений с заранее известным ответом. Для уверенности в правильности расчета рекомендуется, кроме того, проверить полученные данные, подставив их в исходные уравнения. Если противоречия не возникнут, то расчет произведен верно. Надо отметить, что при самом программировании очень часто вкрадываются ошибки. Грубые ошибки обнаруживает быстро и непосредственно машина.

Для осуществления какой-либо операции необходимо указать номер ячеек памяти, где хранятся первое и второе числа, действие, которое нужно будет произвести с этими числами, и номер ячейки, в которую направляется на хранение полученный результат. Такое задание именуется «командой» (был приведен пример трехадресной

команды). Если сравнить работу вычислителя, располагающего арифмометром, с работой машины, то вводное и выводное устройства эквивалентны листу бумаги, на котором записываются исходные данные и результаты вычислений, арифметическое устройство заменяет арифмометр, а память, устройство управления и устройство контроля заменяют, в известном смысле, человека.

Числа и команды, поступающие в машину, должны быть кодированы. Для этих целей обычно пользуются двоичной системой счисления, в которой число можно записать с помощью нулей и единиц. Предпочтение, которое мы оказываем десятичной системе, основано лишь на том, что люди учились считать по пальцам и поэтому положили в основу число десять. Однако известны применения других чисел. Так, древний народ майя вел счет в двадцатичной системе, которая использовалась, по существу, в виде комбинации четвертичной и пятичной системы. В этой схеме каждое число до двадцати представлялось в виде комбинации черточек (каждая черточка — «рука», — число пять) и точек (число пальцев другой руки). Для изображения чисел, превышающих двадцать, использовался нуль. В десятичной системе счисления некоторое число  $N$  записывается в виде:

$$N = a_0 10^0 + a_1 10^1 + a_2 10^2 + \dots + a_{-1} 10^{-1} + a_{-2} 10^{-2} \dots + \dots,$$

причем  $a_i$  могут принимать значения 0, 1, ... 9.

Число сто двадцать пять записывается 125 ( $a_2 = 1$ ,  $a_1 = 2$ ,  $a_0 = 5$ ).

Аналогично число  $N$  в двоичной системе может быть записано в виде:

$$N = b_0 2^0 + b_1 2^1 + b_2 2^2 + \dots + b_{-1} 2^{-1} + b_{-2} 2^{-2} + \dots,$$

где  $b_i$  равно нулю или единице.

Так, число 5 запишется в виде 101 ( $b_2 = 1$ ,  $b_1 = 0$ ,  $b_0 = 1$ ), а число 125 — 1 111 101.

Правило сложения следующее:  $0 + 0 = 0$ ,  $1 + 0 = 1$ ,  $1 + 1 = 10$ ; таблица умножения также очень простая:  $0 \times 0 = 0$ ,  $1 \times 0 = 0$ ,  $0 \times 1 = 0$ ,  $1 \times 1 = 1$ . Каждое число в двоичной системе счисления можно, например, представить в виде импульсно-временного кода. Числу один будет соответствовать импульс, числу нуль — отсутствие им-

пульса. Каждый разряд числа передается через определенные промежутки времени.

Запоминание чисел, представленных в двоичной системе счисления, очень просто осуществляется с помощью устройства, которое может находиться в двух различных состояниях. Примером может служить электронное реле, в котором либо одна лампа заперта, тогда вторая пропускает ток, либо наоборот. Наличие или отсутствие заряда, напряжение, намагниченность и т. д. может быть использовано для передачи и хранения цифр. Таким образом, двоичная система счисления позволяет различать числа по качественному признаку (есть сигнал или нет его), а не по количественному, что обеспечивает значительно большую надежность в работе. Действительно, если бы мы попытались сопоставить каждому числу определенное значение какой-либо непрерывно меняющейся величины (скажем, силу тока), то вследствие ряда случайных причин это значение могло бы несколько измениться и числа оказались бы перепутанными между собой.

В дальнейшем мы увидим, что двоичный метод счисления положен в основу работы отдельных нервных клеток, которые также действуют по принципу «да» или «нет». Для того чтобы машина могла провести расчет какого-либо алгебраического выражения, необходимо подробно разработать правила вычисления, руководствуясь которыми, можно прийти к решению задачи после некоторого числа шагов или, как говорят в математике, необходимо построить алгоритм. Оказывается, что есть задачи, которые могут быть решены человеком, но для которых не удастся указать алгоритма. В этом случае машина помочь не сможет.

Предположим, что требуется найти значение выражения  $\cos x$ . Непосредственно найти значение  $\cos x$  машина не может; поэтому необходимо записать математику  $\cos x$  в форме, «понятной» для машины. Для этого представим  $\cos x$  в виде ряда:

$$\cos x = 1 - \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!} - \dots$$

В соответствии с точностью вычисления можно взять определенное число членов этого ряда, после чего задача сводится к умножению и сложению чисел. Рассмотрение этих вопросов, однако, выходит за пределы настоящей брошюры. При рассмотрении универсальных вычислитель-

ных машин кибернетика интересуется принципами их устройства и работы. В вычислительной машине имеется очень большое число электрических цепей. Для их расчета могут быть использованы приемы формальной логики. Таким образом, анализ релейно-контактных цепей можно отнести к одному из разделов кибернетики. При работе машины происходит непрерывная передача информации от одного узла машины к другому. Задача заключается в осуществлении этой передачи в кратчайший срок достаточно надежными способами, для чего может быть использована общая теория связи.

Кроме того, кибернетика проводит известную аналогию между работой головного мозга человека и работой вычислительной машины. Эти вопросы будут обсуждаться в дальнейшем.

Остановимся вкратце на машинах непрерывного действия. Эти машины с успехом применяются в тех случаях, когда не требуется слишком большая точность вычисления. Их работа основана на возможности создания такой же зависимости между непрерывно меняющимися величинами некоторой физической системы, которая характерна для величин в рассматриваемой задаче.

Конструкция машин непрерывного действия существенно зависит от того, какие уравнения должна решать данная машина, так как эти уравнения описывают различные физические процессы. Зато такие машины решают задачи непосредственно, без предварительного сведения всех вычислений к арифметическим операциям. Поэтому отпадает необходимость в весьма сложном программировании. Простейшей «машиной» такого типа является логарифмическая линейка, где цифры изображаются отрезками, сложение цифр сводится к сложению отрезков и т. д.

Машины непрерывного действия позволяют моделировать ряд физических процессов. Последнее дает возможность изучать явления, строгое математическое описание которых наталкивается на ряд трудностей. При создании моделирующих устройств приходится обращать большое внимание на соответствие процессов, протекающих в изучаемом объекте и в самом устройстве.

Рассмотрим теперь примеры применения кибернетических машин цифрового типа и машин непрерывного действия.

Наше время характеризуется чрезвычайно бурным развитием техники. Еще сравнительно недавно XX век называли веком электричества, но сейчас это название нам кажется далеко не исчерпывающим. Разве мы можем забыть о радио, телевидении, авиации, об открытии атомной энергии и о создании быстродействующих вычислительных машин! Пройдет, может быть, еще пятнадцать — двадцать лет, и будет положено начало завоеванию межпланетного пространства, сбудется заветная мечта человечества, и тогда наше столетие назовут «веком космических полетов». Технический прогресс требует неотложного решения ряда задач с очень большим объемом вычислительной работы. Время, необходимое для «ручного» расчета, может оказаться настолько большим, что придется искать грубо приближенное решение вопроса и отказаться от более точного расчета.

При выполнении некоторых операций необходима слишком быстрая реакция на внешние воздействия, и человек не в состоянии справиться с поставленной задачей. В этих случаях нам на помощь приходит машина-вычислитель, машина-автомат.

Человечеству потребовалось триста лет для преодоления пути от первой арифметической машины, изобретенной Паскалем в 1642 году, до первых быстродействующих электронных счетных машин, появившихся в 1943 году. Но то, что сделано за последние десять—двенадцать лет в деле развития машинной вычислительной техники, в некоторых отношениях превосходит прогресс за предыдущие триста лет! Кибернетические машины уже проникли в самые разнообразные отрасли промышленности и науки, значение их растет с каждым годом.

Прежде всего, необходимо отметить, что создание и применение быстродействующих вычислительных электронных счетных машин привело к революции в вычислительной технике, дало возможность решать существенно новый круг задач. Остановимся, например, на вопросе о предсказании погоды. Задача заключается, в конечном счете, в решении сложной системы уравнений с начальными условиями, которые определяются по поступающим метеосводкам. Объем работы, однако, настолько велик, что ответ можно дать лишь тогда, когда

он никому не будет нужен, так как расчет займет около двух недель. Новая машина справляется с этой задачей, например, в течение 2 часов.

Применение быстродействующих вычислительных машин дало толчок к разработке вопросов, имеющих самостоятельную научную ценность. Так, в последние годы ряд задач математической физики удалось свести к вычислению так называемых континуальных интегралов — интегралов бесконечно большой кратности, которые приближенно можно заменять многократными интегралами. Совсем недавно советский математик И. М. Гельфанд с помощью вычислительной машины подсчитал один такой интеграл с хорошей степенью точности. Можно надеяться, что в скором будущем будут разработаны методы приближенного вычисления этих выражений.

В теории вероятностей известен метод Монте-Карло, который позволяет предсказывать исход серии опытов, в каждом из которых появление различных событий имеет некоторую вероятность. В физике этот метод нашел применение в исследовании диффузии нейтронов в веществе. Расчеты удастся провести лишь с помощью быстродействующих вычислительных машин. Интересные задачи более корректной оценки погрешностей возникают при решении большого числа алгебраических уравнений с большим числом неизвестных. В связи с усовершенствованием машин развивается и «машинная математика».

Вычислительные машины применяются при создании сложных систем, когда изобретатель не в состоянии перебрать для упрощения конструкции все возможные комбинации отдельных элементов этой системы. Такая же задача может возникнуть и в органической химии при «проектировании» новых соединений, молекулы которых состоят из очень большого числа атомов. Машина приходит на помощь также в случае необходимости получения справки о том или ином веществе. Не случайно поэтому американская ассоциация химиков поставила перед конструкторами задачу создания для этих целей машины-статистика.

Перейдем теперь к техническим вопросам. Впервые новые машины стали применяться в военном деле, в авиации и артиллерии. Стрельба по реактивным самолетам требует очень большой скорости наводки орудия и может быть осуществлена с помощью управляющей машины.



Получающиеся при этом ошибки не превышают 10—15 метров по дальности и 3—5 угловых минут по направлению. Вычислительные машины используются для бомбометания по заранее составленной программе, для управления летящим снарядом и для регулировки посадки и взлета реактивных самолетов. Американская печать сообщает об организации противовоздушной обороны Нью-Йорка с использованием огромной вычислительной машины, управляющей полетом самолетов и их огнем, разрабатывающей план «обороны», подающей сигналы воздушной тревоги и отбоя. Маневры, впрочем, показали, что достигнутая автоматизация не является вполне удовлетворительной. Машины с успехом применяются для испытания летных свойств новых типов самолетов, избавляя, тем самым, летчика-испытателя от риска.

Такие же машины могут управлять движением ракеты с учетом изменения ветра, температуры и т. д. Созданы машины для моделирования полета, имитирующие неисправности в самолете. Это дало возможность в более короткий срок подготовить квалифицированных летчиков и уменьшить необходимые для обучения затраты. Кибернетические машины могут произвести зашифровку и расшифровку сообщений.

Вычислительные машины уже в течение нескольких лет используются в бухгалтерских расчетах, для расчета заработной платы рабочих и служащих с учетом их работы, премий, налогов и т. д. Тем самым, целый штат вычислителей может быть использован для другой работы.

Большие перспективы имеет применение машин в справочно-библиографической работе. Вместо многочисленных папок с делами можно воспользоваться магнитным барабаном, на который записывают все необходимые сведения. Подлинники же документов могут храниться в архиве. «Подшивку» новых сведений можно осуществлять по телефону или телеграфу. При этом время, необходимое для извлечения необходимых данных, значительно сократится. Автоматы позволяют выбирать наиболее выгодный режим ведения плавки в доменной печи, регулируют количество расходуемого углерода и управляют другими производственными процессами. Автоматы нашли применение и на нефтеперерабатывающих заводах.

Ряд производственных процессов при изготовлении радиоприемников, телевизоров, электронной аппаратуры,

деталей механизмов может быть осуществлен с помощью машин. Наконец, имеется проект машины, предназначенной для создания новых себе подобных машин (машина Неймана).

В одном из районов Нью-Йорка работает «робот-полисмен», управляющий сигнализацией семафоров, который заменил 360 полицейских и дал возможность сократить время разезда автомобилей в часы «пик» на полчаса.

До сих пор применялись лишь такие механизмы, которые позволяли автоматизировать какой-либо определенный тип работы. При перемене задания приходилось изменять и самое устройство. Если же работой станка «руководит» вычислительная машина, то для изменения характера работы станка необходимо лишь изменить программу, что осуществляется простой заменой одной магнитной ленты другой. Обмен опытом между различными предприятиями также можно осуществить с помощью магнитных лент!

Кибернетические машины нашли применение в пищевой промышленности при изготовлении продуктов и при расфасовке товаров, они используются в медицине для диагностики заболеваний, в геологии и в геодезии. Советские инженеры работают над созданием вычислительной машины, которая будет управлять движением локомотива, подбирая наиболее выгодный режим скоростей в зависимости от профиля пути. Уже построены металлообрабатывающие станки, управляемые вычислительной машиной.

Одна из лучших английских вычислительных машин используется для нужд лондонских кафе и ресторанов. В ее задачу входит выработка меню на следующие дни с учетом запроса посетителей. Со своей задачей она справляется в течение двух часов, а в остальное время предприниматели сдают ее «в наем» для научных учреждений. Американская компания «Бэлл» использует машины для подсчета стоимости телефонных разговоров. Число таких примеров можно было бы увеличить, но и сказанного достаточно для того, чтобы понять, какую роль начинают играть эти машины в жизни.

Надо, наконец, остановиться на возможности автоматического перевода с одного языка на другой, на машинах, играющих в шахматы, шашки и другие игры. Как выше

указывалось, машин, предназначенных только для перевода, нет. Для осуществления этой задачи необходимо очень сложное программирование, учитывающее грамматическую структуру языка. Пока машина справляется (и неплохо справляется) с техническим текстом, но в принципе может переводить и более сложные по своей конструкции фразы, включающие идиоматические обороты, если только ее «словарный запас» будет достаточно велик. Однако окончательная литературная отделка все равно будет необходима. Полное осуществление этой программы связано с решением сложных задач. Значительно более простой является задача создания машины, переводящей отдельные слова, т. е. машины, моделирующей словарь. Переводчик же, знакомый с языком, может без труда восстановить весь текст. Первые переводы с русского языка на английский были осуществлены в 1954 году. Советская вычислительная машина «БЭСМ» успешно переводила с английского на русский; сейчас рассматривается вопрос о переводе и с других языков.<sup>1</sup>

Универсальную вычислительную машину можно «научить» играть в шахматы, шашки и другие игры путем составления соответствующей программы. Так в последних опытах одна из американских машин показала высокий класс шахматной игры, сыграв вничью с гроссмейстером Решевским. Машины могут решать также и логические задачи.

Большой популярностью за рубежом пользуются так называемые «кибернетические игрушки». Созданы они главным образом в целях рекламы; для нас же они интересны как приборы, моделирующие возможную схему образования в организме условных рефлексов. Широко известна «мышь Шэннона». Игра заключается в следующем. Имеется лабиринт, внутрь которого в произвольное место можно поместить игрушечную мышь. Мышь приходит в движение и после блужданий находит «сало» — небольшой магнит. Если поместить мышь второй раз в ту же точку, то она придет к цели кратчайшим путем. «Запоминание» пути происходит благодаря специальному

---

<sup>1</sup> Следует отметить, что автоматизация перевода не представляет большой практической ценности, по крайней мере в настоящее время; эти исследования интересны в основном для самого языкознания.

устройству, фиксирующему на координатной сетке первый маршрут мыши. Второй раз путь автоматически сокращается, так как это предусмотрено соответствующей командой. Эта игрушка демонстрировалась в качестве примера образования «условных рефлексов у машины». В литературе описана игрушечная черепаха, у которой тоже «вырабатывались» условные рефлексy: эта черепаха всегда ползла под действием света и изредка под действием звука. Секрет заключался в том, что при сочетании света и звука заряжался конденсатор, за счет накопленной энергии черепаха могла двигаться уже только под влиянием звука, если до этого она освещалась светом. Имеются и другие игрушки.

Во всех этих случаях «разумное поведение» достигается не само собой, не в процессе осмысливания собственных действий, а в результате чрезвычайно подробно разработанной человеком инструкции, полностью управляющей поведением игрушки. Отсюда видно, что ни о какой свободной воле или разуме машины говорить не приходится. Ниже мы более подробно остановимся на этих вопросах.

## МАШИНА И ЧЕЛОВЕК

Перейдем к рассмотрению некоторых аналогий между универсальной вычислительной машиной и головным мозгом человека и к вопросу о моделировании органов чувств. Существование упомянутых аналогий послужило основой для ряда заявлений спекулятивного характера о том, что между мозгом и вычислительной машиной нет никакой принципиальной разницы, что, следовательно, машина может заменить, вытеснить, поработить человека. Нет никаких оснований для таких утверждений. Подобные измышления явились в значительной мере плодом рекламы, сенсационной шумихи, поднятой буржуазной прессой вокруг этих вопросов.

Перейдем к существу дела. Как выше уже упоминалось, каждая нервная клетка — нейрон — может находиться либо в возбужденном, либо в невозбужденном состоянии. Уровень возбуждения при этом всегда одинаков, независимо от величины раздражения. Поэтому и говорят, что нейрон, подобно электронному реле, может находиться лишь в двух различных состояниях, работает

по принципу «да» или «нет» (двоичная система счисления). После каждого возбужденного состояния наступает рефрактерный период, в течение которого нейрон неспособен вновь возбудиться. Сильное же раздражение отличается от слабого количеством отдельных актов возбуждения в единицу времени. Учитывая это совокупность нейронов можно рассматривать как канал связи с некоторой пропускной способностью. Отдельные нейроны соприкасаются между собой отростками. Этот контакт называется синапсом. Считают, что синапсы являются фактором, вызывающим «поляризацию» раздражения. Последняя заключается в том, что импульс распространяется в определенном направлении в зависимости от комбинации возбужденных и невозбужденных нейронов, замыкающих к данному синапсу. Спрашивается — имеются ли приборы, которые хотя бы грубо могли по своим функциям напоминать синапс? В качестве такового можно указать на транзистор. Транзистор состоит из германиевого кристалла, к которому присоединены на небольшом расстоянии одна от другой две проволоочки. Если подать на одну из них отрицательное напряжение, а по второй пропускать импульс с током, то проводимость кристалла будет в значительной степени зависеть от положения первой нити и ее потенциала. Можно представить себе более сложный случай, когда в контакте с кристаллом находится несколько нитей. Последний случай несколько напоминает синапс. Интересным является вопрос о памяти. Как уже отмечалось, в вычислительных машинах запоминающее устройство может работать по принципу временной задержки. Физиологические исследования показали, что синапсы тоже задерживают распространение импульсов. Может быть, это и не поверхностная аналогия.

Остановимся на энергетической стороне вопроса. Мощность, потребляемая большой вычислительной машиной, определяется десятками киловатт. Для работы мозга, разумеется, необходима также энергия, но в значительно меньших количествах. Эта энергия преобразуется в теплоту; поэтому вытекающая из головного мозга кровь имеет несколько большую температуру, чем втекающая.

Еще раз приходится удивляться совершенству природных «механизмов»!

Винер проводит параллель между некоторыми неисправностями в машинах и заболеваниями головного мозга. Так, в системе, состоящей из большого числа нейронов, может возникнуть циклический процесс, состоящий в последовательном возбуждении нервных клеток. Такой цикл может не затухать длительные промежутки времени, в течение которых отдельные участки мозга перестают выполнять свои обычные функции. Нечто подобное может произойти и в вычислительной машине.

Однако не следует придавать слишком большого значения таким аналогиям. Их скорее следует рассматривать как первые шаги в деле познания наиболее сложного и совершенного органа, созданного природой. — головного мозга человека.

Задача эта слишком сложна, и решить ее одним росчерком пера невозможно. Перспективы же этих исследований очень заманчивы. Не будет ничего удивительного в том, что, познав закономерность процессов, протекающих в головном мозге, удастся воздействовать на эти процессы в желательном направлении так же, как теперь люди влияют на ход других явлений. Но это уже дело будущего.

Говоря об аналогиях между организмом и машиной, нельзя, однако, забывать, что процесс мышления коренным образом отличается от работы вычислительной машины, что сколь виртуозна ни была бы быстрота ее работы, она продолжает оставаться лишь слепым исполнителем воли человека. Машина способна решать логические задачи, но неспособна логически мыслить; произведя огромные по своему объему вычисления, она, тем не менее, не может сделать никакого умозаключения из полученных результатов и поэтому не может понять смысла производимых операций, не говоря уже о значительно более сложных вещах, как например, понимание собственного существования. Машина не обладает даром воображения, не может фантазировать и поэтому она совершенно неспособна заменить человека в творческой работе.

Человек построил ряд машин, которые способны выполнять отдельные работы значительно лучше, чем это он сделал бы сам, поэтому он нашел в машинах надежного помощника. Для тех же целей предназначена и вычислительная машина; она должна взять на себя наиболее неинтересную и трудоемкую стандартную расчетную работу,

решение же творческих задач может выполнить только человек.

Стандартной «мысли» отвечает и стандартное внутреннее устройство вычислительных машин, так как в настоящее время схема соединений отдельных ее элементов строго фиксирована: случайных связей, в противоположность мозгу, не образуется. Выход из строя отдельного звена в машине влияет на правильность всего расчета, в то время как выход из работы отдельных нейронов никак не отражается на правильности хода мысли.

Более простой является задача моделирования отдельных органов чувств — слуха, речи и зрения. В этом вопросе уже получены интересные и важные результаты.

Правда, нет приборов, которые бы моделировали все свойства глаза или слуха, — это слишком сложная задача. Но можно моделировать отдельные, наиболее важные функции этих органов.

Прибором, моделирующим одну из функций уха, является всем известный микрофон. Он преобразует, так же как и ухо, звуковые колебания в колебания электрического тока. Фотоэлемент моделирует глаз.

В задачу кибернетики входят математические исследования физиологических процессов. Остановимся, например, на моделировании речи. В чем здесь заключается математическое исследование? Стремление «разгадать» говорящего человека возникло еще в XVIII и XIX веках в связи с возникшим в то время интересом к обучению глухонемых. Как построить говорящую машину? Оказывается, это далеко не просто. Необходимо, прежде всего, рассмотреть процесс возникновения звуков.

Все многообразие звуков в языке воспринимается при помощи ограниченного числа отдельных звуковых представлений — фонем, которые могут быть разбиты на гласные и согласные. Для создания членораздельного звука исходный звуковой материал должен быть соответствующим образом обработан. У гласных фонем первичный звук возникает вследствие вибрации голосовых связок. Затем этот звук обрабатывается голосовыми фильтрами, которые выделяют область звуковых частот, в которых частичные тоны имеют увеличенную силу звучания. Эти области характеризуют гласную как таковую, какова бы ни была высота ее основного тона. Источником согласных звуков является дыхание.

Если описывать процесс образования фонемы математическим языком, то изложение примет примерно такой вид. Имеется исходная функция (первоначальный звук), которая преобразуется с помощью некоторого оператора (т. е. первоначальный звук затем обрабатывается) в другую функцию (получение членораздельных звуков). Следовательно, каждому звуку можно сопоставить свой оператор, действие которого можно представить в виде разложения в ряд Фурье (гласный звук) либо в интеграл Фурье (согласный звук) и т. д. На практике роль голосовых фильтров играют резонаторы, которые могут соединяться между собой в различных комбинациях.

Созданы также приборы для переделки речи. Они дают возможность придать иную окраску голосу, преобразовать шепот в речь, мужской голос — в женский и т. д. Имеются аппараты, преобразующие отдельные звуки в световые изображения.

Большое значение имеет моделирование зрения. Задача заключается в том, чтобы «научить» машину распознавать цвета, отдельные буквы текста. Все поступавшие сведения, в конечном счете, преобразуются в последовательность цифр. Если соединить такой искусственный глаз со станком, то такой автомат сможет обрабатывать детали, «глядя» прямо на чертеж; если соединить его с прибором, моделирующим речь, то получится «автоматический чтец», который сможет хотя бы отчасти заменить слепому глаза. В последнем случае математическое исследование заключается в представлении каждой фонемы в виде совокупности цифр. Автоматический чтец пока еще не создан, но это вопрос времени.

Задачей моделирования слуха является создание таких приборов, которые бы могли отличать одну фонему от другой, отвлекаясь при этом от несущественных деталей, связанных с тем, что различные люди имеют различные голоса.

Осуществив моделирование отдельных органов чувств, можно поставить вопрос о создании таких автоматов, которые могли бы решать и более сложные задачи с участием нескольких «органов чувств» машины. Первые попытки в этом направлении сделаны, но учитывая теперешнее состояние этого вопроса, они, конечно, еще примитивны. Сравнительно слабо еще разработан вопрос о моделировании осязания.



Для научных исследований деятельности головного мозга человека представил бы большой интерес вопрос о чтении мыслей. Существенных результатов пока в этой области нет. Однако удавалось улавливать отдельные импульсы, связанные с произношением про себя отдельных слов.

Задача исследования заключается в изучении биотоков головного мозга. Биотоки могут быть усилены, и по их характеру удастся судить о состоянии человека: спит он или бодрствует, решает ли он задачу или читает. Располагая кривой биотоков, врач даже в состоянии поставить диагноз, выявить наличие и местонахождение опухоли и т. д.

Даже из этого очень краткого перечня вопросов «физиологической кибернетики» видно, что в этих задачах переплетаются интересы самых различных наук.<sup>1</sup> Экспериментальные исследования дают богатый фактический материал. Задача же кибернетики заключается в математической обработке полученных данных, в установлении общих закономерностей.

Вопросы моделирования органов чувств представляют интерес не только для физиологии, но и для техники. Тот факт, что работа нервной системы построена по двойничному принципу, убеждает лишний раз конструкторов универсальных вычислительных машин в правильности избранного ими пути. Если обратиться к истории, то физиологические исследования врача Р. Майера привели к открытию им закона сохранения и превращения энергии. Можно указать и другие примеры. Летучая мышь «ощущает» при полете окружающие тела с помощью излучаемых ею ультразвуковых волн, которые, отражаясь от предметов, попадают в ухо мыши. Электрический скат использует для этих же целей электромагнитные волны. Если бы на последние примеры инженеры обратили внимание раньше, то, наверно, уже давно возникла бы радиолокация.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

XX съезд КПСС наметил грандиозные задачи дальнейшего подъема всех отраслей социалистической экономики. Рост промышленной продукции за пятилетие составит при-

---

<sup>1</sup> Вопрос о создании искусственных органов изложен в статье П. Гуляева в журнале «Наука и жизнь», 1956, № 11.

мерно 65 процентов. В 1960 году будет производиться промышленной продукции в три раза больше, чем в 1956 году. Дальнейший технический прогресс требует внедрения в широких масштабах автоматизации производственных процессов. В шестой пятилетке поставлена задача перейти от автоматизации отдельных агрегатов к автоматизации цехов, технологических процессов, к автоматизации целых предприятий. В Директивах XX съезда указано, что будут осуществлены автоматизация управления мартеновскими печами, комплексная механизация и автоматизация технологических процессов прокатного, коксохимического, огнеупорного и метизного производств, осуществлена автоматизация производственных процессов на обогатительных фабриках черной металлургии. Предусмотрена автоматизация процессов в литейном и кузнечно-прессовом производстве, автоматизация производства массовых деталей радиоаппаратуры и вакуумных приборов.

Автоматизация будет внедрена в химической, лесной, текстильной, кожевенно-обувной, пищевой промышленности. Эти данные свидетельствуют об огромном значении в настоящее время автоматизации народного хозяйства. Автоматизация цехов, а тем более предприятий требует сложной системы управления. В ряде случаев следить за ходом производственных процессов может не только человек, но и сложная управляющая машина.

Трудно переоценить роль этих машин. Они дают возможность сократить обслуживающий персонал автоматизированного цеха до нескольких человек, с их помощью может быть значительно ускорен выпуск продукции, достигнута высокая точность при изготовлении деталей. Применение управляющих машин ведет к снижению себестоимости продукции. Создание новых типов машин требует дальнейших теоретических исследований в области управления и связи. Это является задачей кибернетики. Надо сказать, что применение быстродействующих вычислительных машин в капиталистических странах, в первую очередь в Америке, привело к усилению безработицы, явилось для монополий новым источником прибылей. Отдельные фирмы, производящие крупные машины, в погоне за рынком сбыта не скупилась на рекламу, ради которой нередко искажались факты. Начали даже возрождаться «социальные теории», пытающиеся объявить машины источником всех бед капитализма.

В связи с этим в нашей философской литературе имели место ошибочные выступления. Кибернетика была объявлена «реакционной лженаукой». В Кратком философском словаре выпуска 1954 года говорится, что «кибернетика отождествляет механические, биологические и социальные взаимосвязи и закономерности... По существу своему кибернетика направлена против материалистической диалектики, современной научной физиологии, обоснованной И. П. Павловым, и марксистского, научного понимания законов общественной жизни». Это утверждение ни в коей мере не соответствует объективному содержанию кибернетики. Оно явилось следствием весьма поверхностного ознакомления с вопросом некоторых наших философов, которые поверили на слово буржуазным журналистам и не смогли вникнуть в суть дела. Отдельные идеалистические «выводы», связанные с кибернетикой, не могут, разумеется, умалить значение этой новой теории, точно так же, как идеалистические толкования достижений физики, астрономии, биологии не могут заставить нас отречься от ценных результатов этих наук.

Кибернетика не «отождествляет механические, биологические и социальные взаимосвязи и закономерности», а лишь проводит аналогию между ними.

Далее, социальные взаимосвязи и закономерности, по существу, совершенно не относятся к кибернетике. То обстоятельство, что Н. Винер пытался подойти к жизни общества с точки зрения теории информации, не может служить поводом для отрицания всех других ценных результатов кибернетики, так же, как и философские позиции Винера не дают права объявить все направление лженаучным.

Кибернетика имеет ряд достижений, которые свидетельствуют об объективном отображении ею действительности, а такая наука не может быть «направлена против марксистской диалектики, современной научной физиологии...». Направлены могут быть лишь извращенные толкования достижений науки, на которые и должны указать философские исследования, освободив тем самым ценную основу теории от последующих наслоений.<sup>1</sup>

Далее в философском словаре написано: «Поджигатели новой мировой войны используют кибернетику в

---

<sup>1</sup> Интересные мировоззренческие вопросы затронуты в брошюре Э. Кольмана «Кибернетика». Издательство «Знание». 1956.

своих грязных практических делах. Под прикрытием пропаганды кибернетики в странах империализма происходит привлечение ученых самых различных специальностей для разработки новых приемов массового истребления людей...».

Эти слова не могут служить аргументом против научного характера кибернетики, так как они касаются не самой науки, а способа ее использования. Нелепо было бы отрицать математику, физику, химию, основываясь на том, что они тоже используются «поджигателями новой мировой войны» и т. д.

Слово «кибернетика» отсутствует в Большой советской энциклопедии, а также и в Кратком философском словаре выпуска 1955 года. Такое освещение вопроса препятствовало установлению объективного мнения о кибернетике.

В настоящее время предубеждение против кибернетики у нас изжито, и советские ученые с успехом развивают это научное направление. Широкий размах исследовательских работ теоретического и прикладного характера является лучшим доказательством этого.

\* \* \* \*

Научный редактор — кандидат физико-математических наук  
*Г. Ф. Друкарев*

Редактор издательства — *Д. М. Владимирский*

Техн. редактор *А. М. Гурджиева*

---

М-01811

Подписано к печати 18/IV 1957 г.

Объем 21 $\frac{1}{4}$  п. л

Заказ № 2167

Тираж 13 300 экз

---

Типография КОИЗ. Ленинград, Фонтанка, 62

**Цена 70 коп.**