

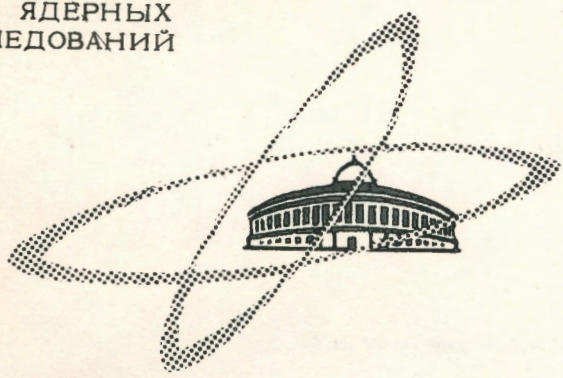
1880

ЭКЗ. ЧИТ. ЗАДА

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

1880



Г.И. Макаренко, Г.А. Ососков

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР

ЧТО ТАКОЕ КИБЕРНЕТИКА?

1964

1880

Г.И. Макаренко, Г.А. Ососков

ЧТО ТАКОЕ КИБЕРНЕТИКА?

Общественный институт
технических наук
ФОНД ДОКУМЕНТА

От авторов

Настоящая брошюра представляет собой научно-популярный очерк, сжато излагающий проблематику, методы и вопросы применения кибернетики.

Работа рассчитана на читателей, обладающих достаточной степенью подготовки, и может представить интерес как материал для проведения бесед о кибернетике. За исключением ряда примеров и части литературы, перечисленной в библиографическом списке, она доступна и более широкому кругу лиц, в частности школьникам старших классов.

Брошюра написана по предложению правления Дубненского городского отделения общества "Знание" и явилась результатом обработки лекций о кибернетике, прочитанных авторами в 1960-64 г.г.

Введение

Кибернетика - наука об управлении

Современная жизнь немыслима без машин, управляемых человеком. Машини помогают нам всюду: на работе, в пути и дома. Существенно, что все эти машины работают, повинаясь воле человека, управляющего данной машиной или комплексом машин.

Вот мы проходим мимо строительства. Огромный строительный кран легко поднимает многотонные перекрытия на 4-й этаж, слушаясь движения руки крановщицы. Кажется, что больше нечего придумать для облегчения работы, разве только увеличить грузоподъемность или длину стрелы крана. Однако труд крановщика все еще нелегок и разнообразен, слишком сложен, он требует навыков и умения. Еще более сложен, например, труд машиниста шагающего экскаватора или наладчика автоматической линии станков. Поэтому все чаще и чаще в последнее время встает вопрос о замене человека в деле управления машинами.

А нужно ли это? Что же тогда останется на долю человека? - спросите вы.

Но стоит немного подробнее ознакомиться с проблемой, как мы увидим, что автоматизация умственного труда, замена человека в процессах управления и даже в более тонких, казалось бы, чисто "человеческих" функциях, уже сейчас категорически необходима.

Поясним эту мысль примерами.

Известно, что время, проходящее от выстрела стартера до первого движения бегуна, имеет величину порядка десятых долей секунды. Это - так называемое время реакции. Подобная задержка при повороте штурвала грозила бы километрами отклонения от курса современного реактивного самолета, не говоря уж о ракете. Вот почему труд современного летчика и космонавта почти полностью автоматизирован.

Кроме таких чисто физиологических ограничений на быстроту реакции, любому человеку нужно вполне определенное время, чтобы разобраться в обстановке, осмыслить ситуацию. А для управления, например, сложными технологическими процессами на современных химических заводах часто бывает необходимо мгновенно принять какое-то решение, ориентируясь на показания десятков приборов.

С проблемой необходимости быстрой переработки огромного количества информации только в еще большем масштабе сталкиваются работники отделов научно-технической информации. Теперь во всем мире выходит так много книг и журналов по всем отраслям знаний, что их отбор, перевод и реферирование часто запаздывают на месяцы и годы. И люди тратят месяцы и годы на открытие или изобретение уже кем-то открытых или изобретенных вещей.

Но, пожалуй, нигде так не сказывается ограниченность скорости работы человеческого мозга, как при проведении разнообразных расчетов.

Самый яркий пример — предсказание погоды. Можно, по-видимому, не говорить о крайней ценности сведений о предстоящей погоде для штурманов морского и воздушного флота, работников сельского хозяйства и т.д. В настоящее время имеется большая сеть метеостанций, и метеорологи располагают математическими методами, позволяющими достаточно хорошо предсказывать погоду на значительные сроки. Но формулы, по которым предсказывается погода, столь сложны, зависят от такого количества исходных данных, что даже целая армия вычислителей, вооруженных арифмометрами сможет получить решение, дающее сводку завтрашней погоды, только через несколько дней. (Кстати, такие предсказания "прошлогоднего снега" проводились в свое время для проверки метода и давали хорошие результаты).

Аналогичная ситуация имеется сейчас в военном деле. Разработаны математические методы решения тактических и стратегических военных задач. Совершенно очевидно, что успех тут определяется более всего оперативностью в получении решения.

Развитие экспериментальных наук в настоящее время достигло уровня, требующего для исследования тонких статистических законов, проведения миллионов опытов. Так, в Объединенном институте ядерных исследований в Дубне широко проводятся опыты по изучению взаимодействий элементарных частиц, являющихся основой наших представлений о строении вещества. В специальном ускорителе — синхрофазотроне разгоняют до гигантских энергий в десяток миллиардов электроновольт элементарные частицы — протоны и бомбардируют ими специальные мишени. Образующиеся в ядерных реакциях другие элементарные частицы (среди которых могут быть новые, не известные нам) — регистрируются по фотографиям их следов в специальных камерах. Вероятность появления в доступных нам условиях некоторых предсказанных теорией элементарных частиц равна тысячным долям процента. Для сколько-нибудь достоверного обнаружения таких частиц в пузырьковых камерах требуется просматривать и проводить полный математический анализ сотен тысяч и миллионов фотографий в год. Ясно, что подобную работу невозможно проводить силами только лаборантов-вычислителей. Невозможно обойтись без автоматизации как просмотра фотографий, так и последующих вычислений, нужных для того, чтобы по следу определить, что это за частица.

Подобных примеров, когда громадная вычислительная работа должна проводиться в самые кратчайшие сроки, можно привести множество.

Все примеры, рассмотренные нами, говорят о крайней необходимости разработки общих принципов автоматизации умственного труда, методов повышения его производительности, нужных для наилучшей организации оперативного управления разнообразнейшими процессами — от полета ракеты до экономического планирования.

Подчеркнем, что речь идет не просто о разработке конкретных схем управления, а именно об общих принципах. Число примеров можно увеличивать, и это разнообразие показывает, что проблема может быть решена только при научном подходе. Нужна новая наука, причем наука обобщающего характера.

В настоящее время для развития наук характерен процесс специализации, так как только сузив поле зрения, можно добиться глубины проникновения в сущность проблемы. Однако такое положение имеет оборотную сторону, когда ученые-специалисты разных отраслей даже одной области знаний перестают понимать друг друга или решают задачи, уже решенные в смежной отрасли. Известно, каким плодотворным бывает сопоставление методов из разных областей знаний. Поэтому естественно появление наук обобщающего характера, таких, например, как теория колебаний. Системы, имеющие самую различную природу: механические, оптические, акустические, электрические и др., колеблются по одинаковым законам, описываемым одинаковыми уравнениями.

Аналогичное явление мы видим, разбирая проблемы автоматизации. По разному она проходит в различных областях. Собственно, если называть автоматом целенаправленную самоуправляющуюся систему, то идеальными автоматами можно считать живые существа или их органы (например, сердце или почки человека).

Но изучить природу автомата можно только отвлекаясь от конкретной реализации данной системы. А вот выводы теории можно проверять на той или иной реальной системе.

В последние 10-15 лет начала складываться именно такая наука обобщающего характера. Она получила название кибернетика от древнегреческого слова "кибернетес" — кормчий, тот, кто управляет судном. Еще Платон использовал это слово для обозначения искусства управления провинциями. В 1834 году известный физик Ампер включил под № 83 эту науку в свою классификацию наук, которая, впрочем, не привилась и вскоре была забыта. Любопытно отметить, что от того же корня "кибернетес" произошло такое известное слово как "управляющий" (gubernator) от которого, в свою очередь, образовалось слово "регулятор" (governor).

В 1948 г. математик Норберт Винер выпустил знаменитую книгу "Кибернетика

или "управление и связь в животном и машине", где впервые были сформулированы основные положения новой науки.

Идеи кибернетики быстро завоевали широкую популярность среди ученых и инженеров, биологов и медиков, психологов и философов. Нет сейчас человека, который не хотел бы знать все об успехах молодой науки и в первую очередь, конечно, о ней самой и ее проблемах.

Чтобы начать изложение проблем кибернетики, мы тоже воспользуемся примером с кормчим — рулевым.

Пусть мы сидим у руля лодки. На направление ее движения влияют сила двигателя, течение, ветер и многие другие причины, которые мы иногда и не в состоянии оценить и учесть. Вначале мы можем даже не знать, в какую сторону и как сильно надо повернуть руль, чтобы лодка шла влево или вправо. Тем не менее очень быстро, следя за поведением лодки в зависимости от движения руки, мы усваиваем, что надо делать. Можно выделить следующие моменты.

Вначале мы не знаем всех причин, влияющих на движение лодки, и принципов устройства ее управления. Это для нас, как говорят, "черный ящик". Но мы видим, как реагирует лодка на наши воздействия, т.е. анализируем систему управления (наш "черный ящик"), получая информацию о поведении объекта управления. Этот важный и самый общий принцип регулировки — принцип обратной связи — позволяет обработать информацию о движении лодки и установить набор правил — алгоритм управления. Можно отметить влияние ветра, течения и других причин, затрудняющих управление, действующих как "шумы", поглощающие информацию о реакции лодки на наши воздействия. Всякий процесс регулировки является колебательным затухающим процессом. Допустим, ветер снес лодку вправо, мы поворачиваем влево. Если это сделать резко, то лодка по инерции уйдет слишком влево, и нам придется поворачивать направо и т.д.; слишком энергичные воздействия приведут к тому, что мы будем болтаться посредине реки. И, наоборот, если поворачивать руль слишком постепенно, то мы, так и не успев повернуть, упремся в берег. Ясно, что для достижения успеха управляющие воздействия должны быть оптимальными, т.е. приводить к быстрейшему затуханию колебаний лодки около заданного направления.

Научившись управлять лодкой, мы в случае аварии сможем заменить сломанный руль, т.е. синтезировать управляющую систему. Более того, мы можем в принципе сделать систему самоуправляющейся, поставив для этого гироскоп, соединенный с рулем, т.е. создать автомат, поддерживающий движение судна в заданном направлении (хотя для лодки это вряд ли имеет смысл).

Наконец, можно было бы упомянуть о том, что ход выработки алгоритма управления в сознании управляющего является процессом самообучения, но не будем превращать простую прогулку на юдке в лекцию о проблемах кибернетики и приступим к изложению того, чем же занимается кибернетика.

Итак, кибернетика — это наука об общих закономерностях строения управляющих систем и течения процессов управления. Любое управление осуществляется посредством передачи информации. Поэтому предметом кибернетики являются процессы приема, хранения, переработки и передачи информации. Первый раздел нашей брошюры и будет посвящен информации — важнейшему в кибернетике.

По своим методам кибернетика является точной наукой, использующей математические способы описания и решения задач. В следующем, втором разделе будут перечислены некоторые из математических дисциплин, стоящих на вооружении кибернетики и позволяющих сделать ее точной наукой об оптимальном управлении. Наряду с этим в кибернетике широко используется опыт, эксперимент для изучения, анализа и синтеза управляющих систем. Поэтому кибернетика взаимодействует со многими отраслями знаний, изучающими конкретные управляющие системы, включая экономические и биологические.

Технической базой кибернетики является радиоэлектроника и в особенности электронные вычислительные машины (ЭВМ). Собственно своим появлением в середине XX века кибернетика обязана именно успехам радиоэлектроники. Поэтому следующий раздел настоящей брошюры посвящен описанию ЭВМ и их возможностей.

В заключение говорится о влиянии молодой науки на другие отрасли знаний и о ее будущем.

Следует учесть, что на излагаемом материале в большой степени сказались интересы авторов-математиков, поэтому читатель не найдет здесь описаний технической реализации кибернетических систем или глубокого разбора медико-биологических примеров. Да и вообще, вряд ли это было бы полезно в рамках популярной брошюры. В случае необходимости заинтересованный читатель сможет удовлетворить свою любознательность, прочитав соответствующую литературу, обширный список которой прилагается.

Информация — важнейшее понятие кибернетики

Важнейшим понятием кибернетики является понятие информации. Сам по себе термин "информация" не имеет точного определения. Каждому понятно, что информировать — значит осведомлять, передавать сообщения, передавать сведения о каком-либо событии, о чьей-либо деятельности.

Информация передается с помощью человеческой речи, ее пересылают по почте, издают в виде книг, журналов и газет, хранят в библиотеках, в музеях, на фотоснимках, на магнитных лентах. Наши органы чувств приносят нам информацию о внешних событиях, внутренние органы обмениваются информацией, координируя свою совместную работу. Таким образом, будучи нематериальной, информация немислима без какого-то материального носителя. Весьма сложным является вопрос о мере информации. Если у нас не хватает каких-то сведений, появляется необходимость в получении информации. Количество нужной нам информации можно измерять по числу вопросов, ответы на которые и ликвидируют наше незнание.

Простейшим является так называемый двоичный вопрос, а именно такой, ответ на который можно дать одним из двух слов — "да" или "нет". Например: "Исполнилось ли вам 30 лет?" Пример троичного вопроса: "Каков результат шахматной партии для шахматиста Иванова?" (Выигрыш, проигрыш, ничья). Двенадцатричный вопрос: "В каком месяце родилась ваша дочь?".

Количество информации, содержащейся в ответе на один двоичный вопрос, в кибернетике принимается за единицу информации. В случае сложного вопроса его стараются разбить на последовательность двоичных вопросов. Рассмотрим пример восьмичного вопроса. Пусть на некоторой железнодорожной станции имеется восемь путей, которые перенумерованы так: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7. Чтобы направить поезд, находящийся в исходном положении, на любой из восьми путей, достаточно получить на трех "стрелках" (I, II, III) ответы на двоичный вопрос: "Куда направить поезд — влево (Л) или вправо (П)?" (См. рис. 1).

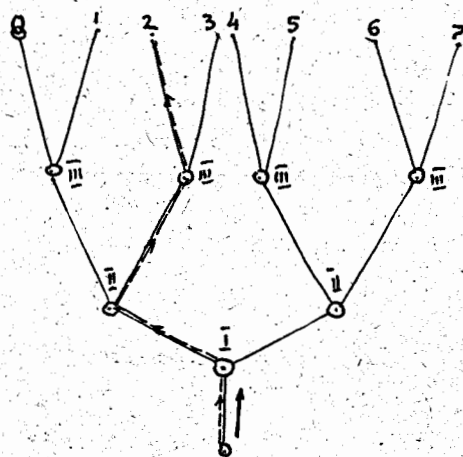


Рис. 1.

Пусть на первой стрелке мы получили ответ - Л, на второй - П, на третьей - Л. При полученных ответах поезд, очевидно, будет направлен на 2-й путь (в нашей нумерации).

Ясно, что условное обозначение (код) нулевого пути будет ЛЛЛ, четвертого - ПЛЛ, седьмого - ППП и т.д. Для простоты записи вместо буквы П будем писать цифру 1, а вместо буквы Л - ноль.

Тогда все наши пути получают условные обозначения или коды:

нулевой путь будет иметь код 000,

первый путь будет иметь код 001,

второй путь будет иметь код 010,

третий путь будет иметь код 011,

четвертый путь будет иметь код 100

и т.д.

Возвращаясь к вопросу о мере информации, из разобранных примера мы делаем вывод, что один восьмеричный вопрос "уравновешивается" тремя двоичными вопросами, а так как ответ на один двоичный вопрос принят за единицу информации, то ответу на один восьмеричный вопрос следует приписать три единицы информации.

Восемь - это третья степень двойки. Если бы был задан 16-ричный вопрос, то, очевидно, он свелся бы к четырем двоичным и т.д. Вообще ответ на N -ричный вопрос, где $N = 2^q$, содержит q единиц информации (такая единица называется бит). Таким образом, мы пришли к следующей формуле для количества информации в сообщении, дающем ответ на N -ричный вопрос

$$q = \log_2 N.$$

Эта формула пригодна и в случае любого N , не обязательно вида 2^q (просто тогда q не будет целым числом).

У читателя может немедленно возникнуть вопрос, а как измерить информацию, содержащуюся в стихотворении, телесообщении или, скажем, в пятой симфонии Чайковского? В этом случае очень трудно поставить вопрос так, чтобы ответ на него можно было дать телекадром или страницей из томика стихов. А, кроме того, имеется масса вопросов, относящихся к сообщениям о статистических событиях, которые могут произойти или не произойти в зависимости от случая. На вопрос, попадет ли стрелок в мишень, нельзя ответить "да" или "нет". Обычно, зная прошлые результаты стрелка, отвечают, что он может попасть с вероятностью 90% и в 10% случаев он промахивается. Как оценить количество информации, содержащееся в таком сообщении?

Ответ на приведенные задачи читатель сможет получить, если познакомится с математической наукой - теорией информации. Основные положения теории информации

были сформулированы американским ученым К.Шенноном и получили дальнейшее развитие в трудах советских математиков, особенно А.Я.Хинчина и А.Н.Колмогорова. Теория информации занимается не только подсчетами количества информации. Знание количества информации необходимо, чтобы решать задачи передачи сообщений по реальным каналам связи (т.е. каналам, в которых имеются шумы, помехи, искажающие сообщения), передачи, при которой информация, содержащаяся в передаваемом сообщении, не теряется.

Откройте любой учебник по теории информации^{х)}, вы сразу же узнаете, что всякая информация передается и хранится в закодированном виде. Имеется в виду, что передаваемая информация выражается как-то материально, в виде буквенного текста, электрических сигналов, звуковых колебаний. Это материальное выражение в процессе передачи одного и того же сообщения может меняться и даже пройти все эти этапы. Мы уже, например, пользовались условным кодом из нулей и единиц для выражения информации о пути поезда. Такая кодировка, основанная на двоичной системе счисления, широко распространена, так как она наиболее проста для реализации. Нуль и единицу легко представлять точкой и тире, наличием или отсутствием сигнала, включенной или выключенной лампой и т.д. В примере с железнодорожными путями мы установили, что в двоичной системе число 4 имеет вид 100; число 7 изображается тремя единицами — 111, т.е. обозначая систему счисления значком 10 или 2, имеем

$$4_{10} = 100_2$$

$$7_{10} = 111_2.$$

Аналогично $1001_2 = 9_{10}$; $23_{10} = 10111_2$ и т.д.

Вообще, двоичное число вида

$$a_n a_{n-1} \dots a_2 a_1 a_0,$$

где каждая из букв a_k может быть 0 или 1, легко преобразуется в десятичное число, а именно:

$$a_n a_{n-1} \dots a_2 a_1 a_0 = a_n \cdot 2^n + a_{n-1} \cdot 2^{n-1} + \dots + a_2 \cdot 2^2 + a_1 \cdot 2 + a_0.$$

Например, $11010_2 = 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 = 16 + 8 + 2 = 26_{10}$.

Теперь мы сможем оценить, например, количество информации, заключенной в стихотворении, состоящем из сотни букв. В русском алфавите 32 буквы; простейший код, сопоставляющий каждой букве число от 0 до 31, требует 5 двоичных знаков. Таким образом, ответ на 32-ричный вопрос о каждой букве содержит $5 = \log_2 32$ единиц информации. Сто букв — 500 единиц информации.

х) Кроме классической работы^{/18/} и монографии^{/19/}, менее подготовленному читателю можно рекомендовать книги^{/10,11/}.

На самом деле информации будет меньше, так как мы хорошо знаем законы нашего языка и не станем проверять, годятся ли буквы й, ы, ь или ь для того, чтобы начать слово. Вопрос о первой в слове букве будет уже 28-ричным. Точно так же мы знаем, что появление нескольких согласных подряд - редкое явление и чаще следует после согласной ожидать гласную и т.п.

Это свойство языка - избыточность вызвано наличием связей между буквами и словами. Все мы привыкли пользоваться им при отправлении телеграмм. Предлоги и даже отдельные слова, выброшенные для сокращения текста, не меняют смысла, т.е. количество информации сохраняется.

Казалось бы, избыточность языка - вредное явление, заставляющее нас перегружать канал связи передачей лишней информации, и надо стараться так закодировать сообщение, чтобы извратиться от избыточности. Однако проблемы передачи информации не сводятся только к передаче телеграмм и телефонных разговоров. Достаточно вспомнить об управлении ракетами и спутниками с Земли, чтобы, например, представить себе, как поведет себя ракета, если она получит неправильный приказ.

Все реальные каналы связи имеют в той или иной степени шумы, помехи, вносящие в сообщение искажения. Для борьбы с помехами приходится, наоборот, увеличивать избыточность, даже повторять сообщение дважды (помните долетавшие к нам сквозь шум рядов бодрые слова наших космонавтов: "Самочувствие отличное! Самочувствие отличное!").

Теория информации и решает задачи нахождения наиболее помехоустойчивых и экономичных кодов или определяет пропускную способность канала связи так, чтобы он успевал пропускать, "не захлебываясь", передаваемую информацию без искажений.

Такая постановка проблемы включает и не менее важные задачи хранения информации, поскольку хранение тоже можно рассматривать как передачу в будущем и требовать от такой передачи экономичности и помехоустойчивости.

Круг вопросов, возникающих в связи с введением понятия об информации, как о предмете кибернетики, значительно шире того, чем занимается теория информации. Прежде всего, остается нерешенной главная проблема кибернетики о наилучшей переработке информации для получения самого хорошего, оптимального управления. Кроме того, как чисто математическая наука, теория информации не поднимает задач реализации полученных систем передач или устройств хранения информации, а только дает метод их анализа (часто упрощенного) или позволяет выбрать лучшие параметры канала связи.

В следующем разделе мы и переходим к вопросам о методах выбора оптимального управления и о способах проверки соотношения теоретических выводов с их технической реализацией.

Кибернетика была определена как наука об управлении. Рассмотрение многочисленных технических, экономических и биологических примеров позволяет так изобразить примерную схему любого процесса управления:

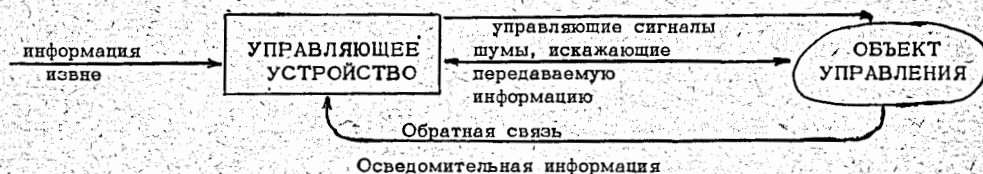


Рис. 2.

Под эту схему подходит любой из рассматриваемых примеров. Управление всегда преследует определенную цель и состоит в последовательном выполнении некоторых элементарных воздействий, выбираемых в зависимости от информации, доставляемой обратной связью. Набор этих элементарных актов и правила, по которым они выбирают-ся, называются алгоритмом управления.

Методы кибернетики, используемые для математического изучения и решения задач управления, и состоят в алгоритмическом описании процессов управления.

Чаще всего известно, что должна делать управляющая система, известны ее функции, но сам алгоритм управления, т.е. как оно происходит, мы не знаем. Для решения задач управления сейчас развита довольно мощная система математических методов. Центральное место в инженерно-технических приложениях занимают задачи оптимального регулирования и саморегулирования с обратной связью, ставшие особенно актуальными в связи с запусками космических ракет и спутников Земли. Математически процессы регулирования описываются в терминах обыкновенных дифференциальных уравнений (т.е. уравнений, связывающих скорость изменения величин, характеризующих процесс управления, с параметрами процесса), а требование оптимальности приводит нас к задачам вариационного исчисления. Недавно появилась монография коллектива советских ученых во главе с академиком Л.С.Понтрягиным^{122/}, где изложены методы решения обширного круга таких задач.

Математическая наука с веселым названием "теория игр" находится в большом почете у военных. Эта наука на основе вероятностных методов позволяет по "ходам" противника в военной "игре" с большой достоверностью разгадать тайну "черного ящика" его стратегии и построить свою ответную стратегию.

Близко к теории игр стоят методы линейного программирования ^{/28/}, которые широко применяются в вопросах составления экономических планов, на транспорте и т.д.

Представим себе довольно обычную ситуацию: необходимо составить план завоза сельскохозяйственных продуктов — овощей и фруктов для обеспечения бесперебойного снабжения населения в каком-то городе. Совхозы-поставщики расположены на разных расстояниях от города и выращивают самые различные культуры. Время завоза ограничено сроками сохранности овощей и фруктов и сроками предоставления транспортных средств. Из многих вариантов плана завоза надо выбрать тот, который обеспечивает наименьшую стоимость общих затрат. Пока подобные задачи чаще всего решаются плановиком-диспетчером, который составляет некоторый план перевозок, опираясь на собственный опыт, включающий как существенные соображения о дальности расстояний, качестве продуктов и состоянии дорог, так и несущественные (например, скандальный характер директора одного из совхозов). Гарантия какой-то оптимальности — только опыт плановика, который очень трудно учесть и проконтролировать.

Посмотрим, можно ли поставить такую задачу математически, хотя бы упрощенно. Пусть имеется десять совхозов, из которых мы должны вывезти неизвестное количество $x_1, x_2, \dots, x_{10}$ тонн продуктов. Мы знаем C_i — суммарную стоимость перевозки и затрат на хранение и продажу единицы продуктов из совхоза с номером i . Тогда общие затраты будут

$$L = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_{10} x_{10}.$$

Если a_i — время на доставку единицы продуктов из i -го совхоза, а T — наименьшая из двух величин: срока, на которой предоставлены транспортные средства, и срока сохранности продуктов при перевозке, то получаем общее ограничение на план перевозок

$$0 < a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_{10} x_{10} < T.$$

Потребуется найти минимум линейного выражения L , перебирая все планы перевозок $x_1, x_2, \dots, x_{10}$ учетом этого ограничения.

Подобные задачи решаются методами линейного программирования и дают поразительный эффект экономии, о чем читатель сможет узнать ниже, в разделе о практических делах электронных машин.

Нетрудно себе представить, как усложняется задача, если величины, характеризующие процесс, окажутся случайными, а оптимизируемое выражение, минимум или максимум которого нужно найти (например, средняя себестоимость или общая прибыль), будет иметь не простой линейный вид, а станет нелинейным. Такие задачи решаются методами так называемого динамического программирования ^{/29/}.

Для вероятностных задач, появляющихся там, где возникают очереди и рассчитывается среднее время обслуживания или время ожидания в такой очереди, разработана

математическая теория массового обслуживания. Ее методами с успехом пользуются, например, конструкторы автоматических телефонных станций.

Кибернетический эксперимент

Математизация методов кибернетики с особой остротой поставила вопрос о взаимосвязи теории и эксперимента, взаимоотношений кибернетики с изучением конкретных управляющих систем.

Прежде всего, количественные кибернетические вычисления предполагают знание всех используемых параметров. Поэтому важнейшей стадией расчета любой управляющей системы является проведение предварительного статистического анализа всех входящих в расчет параметров. Такую статистику может дать только тщательно поставленный эксперимент. Планировать, особенно в экономике, можно на базе реальных статистических цифр. Без скрупулезного изучения биологических законов управления работой органов человека (рук, ног, почек, сердца) невозможна даже сама постановка вопроса об их протезировании.

После анализа статистического упомянутые выше математические методы позволяют нам провести анализ функций управляющей системы и дают алгоритм управления. Далее надо реализовать этот алгоритм, т.е. синтезировать управляющую систему. Поэтому важное положение среди методов кибернетики занимает кибернетический эксперимент.

Кибернетический эксперимент — первый этап синтеза управляющих систем — состоит в том, что после предварительного анализа управляющая система заменяется моделью, которая потом изучается. Изучение модели имеет много преимуществ перед непосредственным изучением реальной управляющей системы, прежде всего потому, что она позволяет, как правило, значительно дешевле и быстрее провести проверку наших представлений о характере изучаемой системы управления, а также верность предпосылок, положенных в основу математического расчета.

Особенно это касается самых сложных биологических управляющих систем, изучение которых, кроме упомянутых целей протезирования, имеет большое значение, так как позволяет применять знание биологических законов управления к решению задач, стоящих перед инженерами.

Осуществляется моделирование управляющих систем средствами техники или математическими методами с помощью электронных вычислительных машин, о которых речь пойдет в следующем разделе.

В предыдущем разделе рассказывалось о математических методах расчетов кибернетических схем. Все эти методы требуют такого объема вычислений, что выполнить их в требуемые сроки вручную или даже с помощью электроарифмометров невозможно. К этой же мысли о необходимости автоматизации вычислительных работ мы пришли еще во Введении, познакомившись с приведенными там примерами.

Посмотрим, как же можно автоматизировать вычислительные работы.

Возьмем наиболее простой пример - решение квадратного уравнения

$$a x^2 + b x + c = 0.$$

Все исходные данные об этом уравнении состоят из трех чисел a , b и c . Для простоты предположим, что $b^2 > 4ac$. В этом случае для нахождения корней уравнения можем воспользоваться известной из школы формулой:

$$x_1 = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}, \quad x_2 = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}.$$

Алгоритм вычисления x_1 и x_2 , т.е. порядок действий над коэффициентами a , b , c таков:

- | | |
|-----------------------|--|
| 1. $b \cdot b = b^2$ | 6. $0 - b = -b$ |
| 2. $a \cdot c$ | 7. $-b + \sqrt{b^2 - 4ac}$ |
| 3. $4 \cdot ac$ | 8. $-b - \sqrt{b^2 - 4ac}$ |
| 4. $b^2 - 4ac$ | 9. $2 \cdot a$ |
| 5. $\sqrt{b^2 - 4ac}$ | 10. $\frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = x_1$ |
| | 11. $\frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = x_2$ |

Теперь мы можем какому-то неведомому вычислителю, который ничего не знает про корни уравнения, но знает четыре действия арифметики и умеет извлекать квадратные корни, поручить вычисления чисел x_1 и x_2 . Для этого мы должны дать ему программу действий, т.е. список команд (I) - (II): сначала выполнить (I), потом (2) и т.д. Этот вычислитель может быть и неодушевленным автоматом. Для проведения вычислений такой автомат должен, кроме умения производить операции, обязательно иметь "память" - устройство, где можно было бы хранить три коэффициента a , b , c , два числа 2 и 4, данные промежуточных вычислений и где после окончания "запоминается" результат x_2 и x_1 . Кроме этого, очевидно, мы должны как-то сообщить этой машине значения коэффициентов и получить от нее ответ, т.е. потребуются устройства ввода и вывода. Получается такая функциональная схема:

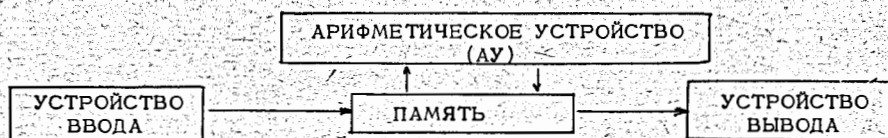


Рис. 3.

Для того, чтобы такая машина находила именно корни квадратного уравнения, нужно, чтобы в арифметическом устройстве (АУ) действия выполнялись в строгой последовательности в соответствии с программой (1) – (II). Если уметь менять программу-порядок выполнения операций, то даже с таким небольшим набором операций возможности машины резко расширяются, она становится универсальной, и мы сможем сообщить ей алгоритм решений огромного количества арифметических и алгебраических задач. С точки зрения схемы машины это означает, что мы в схему внесли еще один "ящик" – устройство управления (УУ), которое и будет сообщать в АУ порядок действий.

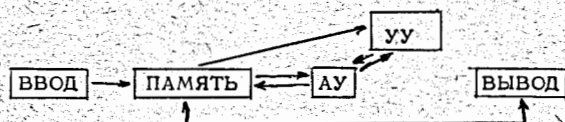


Рис. 4.

Интересно, что более ста лет назад эти соображения пришли в голову кембриджскому математику Чарльзу Бэббиджу. Будучи состоятельным человеком, он все свои средства вложил в создание такой универсальной вычислительной машины, которую собирался сделать на механической основе систем зубчатых колес. Из этой затеи ничего не вышло, Бэббидж разорился, хотя он, а потом его сын, 70 лет посвятили созданию машины-вычислителя. Только с появлением электроники автоматические вычислительные машины получили техническую базу для своей реализации.

Не сразу машины стали работать автоматически. В первых вычислительных машинах программа расчета набиралась на специальной коммутационной доске и не менялись в ходе решения задачи. Из-за необходимости постоянного вмешательства человека, вручную коммутирующего новые варианты программы, фактически сводилось на-нет быстрое действие машины. Счастливая мысль – внести программу в память машины и поручить УУ только извлекать оттуда по очереди команды и сообщать их в АУ для исполнения – позволила резко расширить возможности и, самое главное, повысить скорость вычисления.

Современные электронные вычислительные машины (ЭВМ) с автоматическим программным управлением делают сотни тысяч операций в секунду. Своим появлением ЭВМ произвели подлинную революцию в естественных и даже гуманитарных науках. Колоссальные возможности ЭВМ вызвали к жизни новые способы вычислений, появились методы решения таких задач, за решение которых и не мечтали раньше взяться ученые. Машины считают, доказывают теоремы, планируют экономику, переводят ...

- Позвольте, позвольте, - может спросить читатель, - а как это можно что-либо сообщить машине, как, в каком виде она запомнит числа и тем более команды, как дать ей приказ, на каком языке?

И потом, пример с корнями еще понятен, там вычисления, арифметика, а как это машина будет доказывать, переводить, проводить логический анализ?

Оказывается, вопрос этот не так уж сложен. В разделе о теории информации мы уже познакомились с двоичной системой счисления. В двоичной записи может быть представлено любое число и закодирован любой текст.

Правила сложения и умножения в двоичной арифметике необычайно просты. Вот таблица сложения:

$0 + 0 = 0$, $1 + 0 = 1$; $0 + 1 = 1$; $1 + 1 = 10$, т.е. переносим единицу в следующий разряд.

Вся таблица умножения состоит из четырех произведений:

$0 \times 0 = 0$, $1 \times 0 = 0$; $0 \times 1 = 0$, $1 \times 1 = 1$.

Эти операции легко реализуются в электронных схемах. Поэтому двоичный язык стал языком машины.

В двоичном коде можно записать и команды. Операциям, производимым машиной, присваивают номера. Места в памяти ЭВМ, где хранятся числа (эти места называются ячейками), также пронумерованы. В команде должны быть указаны четыре числа: номер операции, два адреса (т.е. номера ячеек памяти) чисел, над которыми производится операция, и третий адрес - куда засылается результат.

Логические операции тоже могут быть легко реализованы. Машина может, например, сравнить два числа и если они совпадут, выполнять далее одну программу, а при несовпадении - другую.

Благодаря этому, мы можем ответить еще на один вопрос читателя:

- Если для расчета требуются миллиарды операций, то какую же длину должна иметь программа такого расчета, и в каком запоминающем устройстве разместить такую программу?

Отвечая на этот вопрос, заметим, что в основе почти всех вычислительных процессов лежит метод итераций, т.е. многократно повторяющихся циклов одинаковых арифметических действий, производимых над различными числами. В машину обычно вводят признак, сигнализирующий о необходимости прекращения повторений в данном цикле и переходе к новым числам, которые будут обрабатываться опять в этом цикле. Проверку выполнения признака на каждом шаге в цикле производят с помощью упомянутой операции сравнения.

Идея цикличности вычислительных процессов является основной при программировании, составлении программ счета и позволяет автоматизировать даже само программирование. Сейчас составлены программирующие программы, которые позволяют самой машине по закодированной формуле составить программу расчета по этой формуле.

Таким образом, ЭВМ стали привычными в научных лабораториях, конструкторских бюро, постепенно они проникают на заводы и в бухгалтерские конторы. Дав толчок к появлению кибернетики, ЭВМ сами явились прекрасным примером применения ее к жизни. В следующем разделе будет рассказано о некоторых применениях ЭВМ.

Практические дела кибернетических машин

Для того, чтобы наглядно представить себе возможности современных вычислительных машин, произведем сравнение производительной мощности одной из отечественных ЭВМ с возможностями группы расчетчиков-математиков, пользующихся настольными счетными машинами.

Исходим из следующих данных:

1. Расчетчик-математик средней квалификации может выполнить 230-240 операций в час.

2. Скорость ЭВМ - 20.000 операций в секунду.

Значит, расчетчик за 7-часовой рабочий день выполнит не более 1.700 операций, а, следовательно, за год работы (считая в году 300 рабочих дней) не более

$$1.700 \times 300 = 510.000 \text{ операций.}$$

Эту работу наша машина сделает за 26 секунд! Нетрудно подсчитать, что ту работу, которую машина делает за один час, должны будут выполнять 141 человек в течение целого года. (Следует, однако, заметить, что приведенные цифры характеризуют час чисто вычислительной работы ЭВМ без учета времени на ввод и вывод данных, а также на техническую подготовку машины к счету).

Электронный диагност

В настоящее время во многих научно-исследовательских институтах Советского Союза и за рубежом разрабатываются вопросы применения ЭВМ и математических методов для целей медицинской диагностики.

В СССР уже создан электронный диагност для распознавания сердечных заболеваний. В машину заложено большое количество симптомов заболевания сердца, ей передан опыт многих врачей, и машина выдает либо готовый диагноз, либо указывает на необходимость дополнительных исследований.

Интересно отметить, что когда однажды в Киеве машина указала на возможность двух заболеваний у одного больного, то присутствующие врачи сразу согласились с одним из этих диагнозов, второй же диагноз врачами не был принят. Но в процессе последующей дискуссии выяснилось, что и этот, второй диагноз все же допустим, но как-то выпал из поля зрения присутствующих врачей.

Оптимальный план перевозок

В программе партии, принятой на XXII съезде, говорится: "Необходимо организовать широкое применение кибернетики, электронных счетно-решающих и управляющих устройств в производстве, научно-исследовательских работах, в проектно-конструкторской практике, плановых расчетах, в сфере учета, статистики и управления".

Выше уже говорилось об использовании метода линейного программирования в экономике. Особенно хорошо разработано применение этого метода для нахождения оптимальных планов перевозок. Приведем примеры.

1. План перевозок сахарной свеклы по одной группе свеклосеющих областей Украины после корректировки его на ЭВМ Института кибернетики АН УССР стал экономичнее на 8%, что означает 120 тысяч рублей годовой экономии и высвобождение 12 тысяч товарных вагонов!

2. Ежемесячно составляются оптимальные маршруты автотранспорта, доставляющего железобетонные изделия на стройки Московской области. И вот результат: только за первый месяц планирования с помощью машин порожний пробег автомашин сократился на 100000 километров.

Заметим, что только за 1981 год в вычислительных центрах АН СССР и АН УССР было решено около ста аналогичных задач.

Управление сложным агрегатом на расстоянии

В сборнике "Наука и человечество, 1982" сообщается, что 5 ноября 1961 г. завершен опыт непрерывного управления сложным химическим процессом на расстоянии. В течение 48 часов ЭВМ, находящаяся в ВЦ АН УССР, регулировала из столицы Украины работу агрегата на Славянском содовом комбинате в 630 км от Киева.

Специальная цифровая установка, смонтированная в заводской диспетчерской, передавала по телетайпу в Киев информацию о работе одной из химических колонн, в которой протекает основной процесс получения соды.

Вычислительная машина, заменившая аппаратчика, в поисках наиболее выгодной технологии выполняла свыше миллиарда операций. Она передавала команды по проводам в Донбасс. С порученным делом машина справилась вполне, она сумела сократить производственный цикл, повысить экономичность и эффективность процесса в карбоколоне.

Расшифровка древних рукописей

Об одном из удивительнейших применений ЭВМ доложил на IV Всесоюзном математическом съезде в Ленинграде в 1961 году академик С.Л.Соболев. Он сообщил, что три молодых сотрудника Сибирского отделения АН СССР в Новосибирске - Э.Евреинов, Ю.Косарев и В.Устинов расшифровали древние письма племен майя. Заметим, что о решении этой труднейшей задачи без применения ЭВМ ученые не могли бы даже мечтать.

С помощью же машины сам процесс расшифровки Мадридской и Дрезденской рукописей занял всего 40 часов! Эта важная работа - только начало применения математических методов и ЭВМ в лингвистике и истории.

Читателям, которые заинтересуются подробным описанием метода разгадки тайн писем майя, рекомендуем статью Ф.Широкова в сборнике /8/.

Уже эти немногочисленные примеры показывают, что кибернетика вносит принципиальные изменения в характер труда, в методы производства и управления. Если еще в недалеком прошлом машина заменяла мускульную силу человека и облегчала его физический труд, то с помощью разнообразных кибернетических устройств автоматизируются некоторые стороны умственной деятельности человека и, таким образом, наряду с облегчением умственного труда резко повышается его производительность.

Остановимся теперь вкратце на перспективах развития электронных вычислительных машин, являющихся, как мы уже отмечали, технической базой кибернетики. Как указывает академик В.М. Глушков (см. /5/), совершенствование ЭВМ происходит в настоящее время по трем направлениям.

Первое направление - увеличение производительности машин. Здесь уже достигнуты хорошие результаты. Созданы машины, имеющие оперативную память большого объема. Запоминающие устройства на магнитных сердечниках допускают около миллиона операций в секунду. Быстродействие памяти особенно сильно возрастает при использовании в ней тонких магнитных пленок. Совершенствуются также и внешние запоминающие устройства - накопители.

Большое значение для увеличения производительности ЭВМ имеет скорость работы вводных и выводных устройств. За последние годы появились так называемые бесконтактные выводные устройства, обладающие очень большими скоростями.

Второе направление - улучшение технологии изготовления ЭВМ. При конструировании новых машин все шире применяются миниатюризация и новые физические принципы построения различных элементов. При этом, как правило, не только значительно уменьшаются размеры машин, но и резко повышается их надежность, упрощается обслуживание, уменьшается потребление электроэнергии, а зачастую и стоимость машин.

Постепенно совершается переход от громоздких ламповых машин к более компактным и надежным машинам на полупроводниковых и магнитных элементах.

В настоящее время начинается освоение новой технологии изготовления ЭВМ - использование так называемых микромодульных конструкций, "молекулярных" схем, пленочных элементов. Это позволит делать машины еще более компактными.

Третье направление - облегчение общения человека с машиной. Чтобы облегчить общение человека с машиной, нужно увеличить возможности вводных и выводных устройств ЭВМ.

Большую ценность представляет разработка автоматических читающих устройств, которые позволяют вводить в машину печатные и даже рукописные буквы и цифры.

Уже внедрено несколько систем для автоматического считывания цифр, напечатанных стандартным шрифтом. Проведены первые опыты по машинному распознаванию рукописных текстов.

Сейчас в различных странах (СССР, США, Японии и др.) идут эксперименты по вводу в машину команд, подаваемых голосом. Однако задача автоматизация ввода и расшифровки в машине такой информации пока еще полностью не решена.

Будущее умных машин

Кибернетика - совсем еще юная наука, но развивается она столь быстрыми темпами, что очень трудно сказать, каких вершин она достигнет уже в ближайшие 10-15 лет.

Несомненно только то, что кибернетические устройства и системы будущего найдут себе все новые и новые применения во всех сферах человеческой деятельности, а это, в свою очередь, будет способствовать дальнейшему развитию кибернетики.

Мы остановимся здесь на некоторых направлениях, где ожидаются большие выгоды от применения кибернетики.

Автоматизация управления народным хозяйством

В настоящее время в государственном аппарате страны службой учета и административно-управленческой работой занято несколько миллионов человек. Это - экономисты, плановики, технологи, нормировщики, проектировщики и другие специалисты. До последнего времени их однообразный и утомительный труд выполнялся, в основном, вручную или самое большее с применением такой простой техники, как арифмометры и настольные клавишные вычислительные машины. Производительность труда этих работников растет крайне медленно, а при бурном росте нашего народного хозяйства продолжать работать по старинке в системе учета, планирования и управления экономикой нельзя. Назрела необходимость широкого внедрения автоматизации в эту ответственную область человеческой деятельности.

Теперь уже создается единая государственная система вычислительных центров, соединенных между собою современными линиями связи. Назначение этой системы - автоматическая переработка планово-экономической информации и управление экономикой страны.

Однако нужно иметь в виду, что формулировка и первичная подготовка для машинного решения таких экономических задач, как планирование производства и снабжения, калькуляция себестоимости, обработка отчетных данных - очень трудоемкое и сложное дело, требующее большой совместной работы соответствующих специалистов и математиков-программистов. Но затрата времени и труда на эту подготовительную работу окупается с лихвой, так как в дальнейшем задачи данного типа решаются на машинах очень быстро.

Эффект, который даст в недалеком будущем система вычислительных центров, огромен. Например, при переходе к автоматическому планированию перевозок, как правило, получается экономия в размере 10-15%, а в некоторых случаях - 50-60%.

Автоматизация научно-информационной и реферативной работы

Подсчитано, что в мире на разных языках ежегодно публикуется почти 3 миллиона журнальных статей, до 200 тысяч патентов и около 50 тысяч книг по вопросам науки и техники. Так что теперь даже в узкой области знаний очень трудно уследить за всеми

новниками. Иногда ученому выгоднее заново провести эксперимент, чем попытаться найти о нем сведения в небозримом океане опубликованной литературы.

Для примера приведем такой факт: за 20 лет - с 1826 по 1846 г. - научных работ, посвященных химическому элементу цинку, было опубликовано почти втрое больше, чем за 200 лет до этого. Не менее быстрыми темпами растет публикация работ и в математике, физике, астрономии. Мы живем в такое время, когда человек уже не в силах справиться с обилием накопленных научных знаний.

Назрела необходимость создания для человека умного помощника-автомата, который умел бы быстро и ловко "рыться" в библиотеках и архивах, в патентных бюро и карточках. И такой помощник создается - это информационные машины. Перед информационными машинами ставится задача: накапливать и хранить информацию, а также уметь выдавать различные справки. Хранимую информацию нужно кодировать посредством небольшого числа основных понятий, через которые выражаются все остальные. Вопрос, задаваемый машине, кодируется тем же способом. Машина находит ответ, сравнивая код вопроса с хранимыми кодами.

В середине 1957 года в Москве был проведен опыт передачи на расстояние нескольких страниц текста, записанного на долговременной "машинной памяти". На экране телевизора получилось четкое изображение текста.

С помощью кибернетических устройств в библиотеке будущего читатель сможет немедленно получить требуемую информацию в виде изображения на экране телевизора или удобочитаемого печатного текста.

По предварительным данным новая информационная машина, проектируемая под руководством доктора технических наук Л. Гутенмахера, за 1 час сможет прочесть около 4 миллионов страниц печатного текста.

Использование информационных машин столь высокой производительности значительно расширит круг решаемых задач, а также небывало ускорит их решение.

Б и о н и к а

Слово "бионика" произошло от древнегреческого "бион", что означает "ячейка жизни". Один ученый, бионику определил так: бионика является искусством применения знаний о биологических системах и методах к решению инженерных задач. Кибернетика связывает науки, относящиеся к живой природе - биологию, физиологию, нейрофизиологию, со многими техническими науками и особенно с физикой, химией и математикой. Одной из причин зарождения бионики является надежда инженеров на то, что факты, добытые у живой природы, подскажут новые пути в технике.

Многие естественные преобразователи (органы чувств) имеют несравненно лучшую чувствительность, чем преобразователи искусственные. Например, некоторые рыбы реагируют на концентрацию пахучего вещества, равную 10^{-14} граммам на литр воды. Гремучая змея улавливает изменение температуры на $0,001^{\circ}$ по Цельсию. Установлено, что летучие мыши обладают поразительными по своему совершенству органами ультразвуковой эхолокации. Слух совы приспособлен для охоты на летучих мышей: он дает ей возможность слышать те локационные звуки, без которых летучие мыши не могут ориентироваться.

В настоящее время много научных коллективов технического профиля всерьез занимаются исследованиями биологических систем. Эти исследования дают толчок бурному развитию таких областей знания, как радиоэлектроника и электронная техника.

Например, изучение пропускной способности информационных каналов органов зрения, проведенное советскими учеными Глезером и Цуккерманом, позволило установить технически грамотные требования к качеству телевизионного изображения. Исследования глаза рыбы мечехвоста привели американских ученых к созданию электронной модели глаза, которая повышает контрастность изображения и может оказаться полезной при расшифровке аэрофотоснимков, в системе опознавания объектов или распознавания символов.

Велико значение бионики и для дальнейшего развития вычислительной техники.

Сложность задач, решаемых на ЭВМ, очень быстро растет, так что к 1970 году, возможно, придется решать задачи с общим количеством операций, равным исполинскому числу: 10^{17} . Математики Новосибирского научного центра подсчитали, что для решения таких задач потребуются новые машины с огромным числом элементов (примерно 10^{12}).

Очевидно, что плотность монтажа элементов в новых машинах должна быть очень высокой; элементы должны потреблять ничтожно малую энергию и быть чрезвычайно надежными.

Здесь мы с необходимостью приходим к изучению самой интересной и пока еще самой загадочной кибернетической системы — человеческого мозга. Уже несколько лет ученые занимаются разработкой физических моделей нейронов.

Новейшая техника дает возможность создавать протезы, управляемые нормальными импульсами, идущими от мозга, т.е. работающие протезы. Профессор Н. Амосов (см. /8/) высказывает надежду, что можно будет создавать не только протезы конечностей, но и внутренних органов, например, сердца, а в более отдаленном будущем, возможно, легких и почек...

Сейчас очень актуальна проблема опознавания, без ее решения невозможна

дальнейшая автоматизация многих важных процессов, таких как чтение типографского и машинописного текстов, сортировка писем или, что особенно важно у нас в Дубне, отбор событий, происходящих между элементарными частицами, по фотографиям их следов.

В настоящее время ведутся интенсивные работы по математическим описаниям проблемы узнавания и создания образов опознаваемых объектов, проводятся расчеты на ЭВМ. В последнее время у нас в стране и за рубежом появились специальные кибернетические устройства — персептроны, которые способны научиться распознавать объекты.

Обучение персептрона, грубо говоря, состоит в том, что ему "показывают" различные объекты одного класса, например, буквы "А", написанные различными почерками. В случае узнавания персептрон "поощряют" специальным образом, например, увеличивая коэффициент усиления блока, ответственного за узнавание.

Таким образом, после нескольких уроков в памяти персептрона создается понятие буквы "А" и он с большой степенью уверенности "узнает" букву "А" среди всех других.

Если поручить "поощрение" персептрона за правильное узнавание ему самому, то мы получим самообучающуюся машину.

Хотя в решении всех этих проблем сейчас делаются только первые шаги, однако, эти шаги обнадеживают. Достаточно сказать, что уже имеются примеры, когда персептрон различает образы лучше, чем человек.

Нет сомнения в том, что уже в ближайшие годы персептрон найдет широкое применение во многих областях человеческой деятельности.

Подводя итог сказанному, можно сделать вывод, что союзу биологических и точных наук принадлежит большое будущее.

Программированное обучение

В наше время объем научных знаний постоянно и быстро растет. Пройти мимо многих фактов (или не дойти до них), полученных физикой, биологией, математикой буквально в последнее десятилетие, совершенно недопустимо. С другой стороны, мы слышим постоянные жалобы на перегрузку учащихся. Удлинить срок обучения в средней школе, скажем, до 12-13 лет также нельзя.

Выход из положения только один — необходима коренная рационализация процесса обучения, повышение его производительности.

Основой педагогического процесса должен стать строгий научный расчет.

Разработка теории обучения — большая комплексная проблема. Для ее решения не-

обходимо использовать точные методы современной математики, а также последние достижения психологии и кибернетики. Председатель комиссии по программированному обучению Л.Ланда пишет: "Задача состоит в том, чтобы создать логико-математическую теорию процесса обучения, разработать методы количественного анализа этого процесса и оптимальные способы управления им". Существенный недостаток обучения на данном этапе состоит в том, что преподаватель не знает, как работает мысль ученика в каждый момент обучения, т.е. слабо налажена "обратная связь" ученика с учителем.

И здесь на помощь педагогам приходят кибернетические устройства. Создана обучающая машина "Репетитор-1" (авторы Л.Ланда и С.Хлебников), которая побуждает ученика выполнять всю необходимую умственную работу и в то же время "следит" за ходом его мышления, немедленно указывая на ошибки.

Под руководством Ю.Кошелева в Московском энергетическом институте создана специальная экзаменационная машина "Экзаменатор". Схема экзамена такова. Нажимая на кнопку, экзаменующийся получает вопрос и несколько ответов на него. После обдумывания экзаменующийся должен выбрать наиболее правильный, по его мнению, ответ. ЭВМ объявляет оценку за ответ на первый вопрос и т.д.

Например, машина выдала вопрос:

$$\text{"Решить неравенство. } \frac{1}{x} < 1 \text{"}$$
 (1)

и тут же экзаменующийся получил три варианта решения.

1-й вариант:

$$\text{а) при } x > 0 \text{ получаем } 1 < x,$$
 (2)

$$\text{б) при } x < 0 \text{ получаем } 1 > x.$$
 (3)

Сопоставляя неравенства (2) и (3), приходим к выводу, что решением является любое вещественное значение x , за исключением $x=1$.

2-й вариант:

Умножим обе части неравенства (1) на $x > 0$, будем иметь $1 < x$, а умножая обе части неравенства (1) на $x < 0$, получим $x < 1$. . . Итак, решением заданного неравенства является любое значение x из следующих интервалов .

$$-\infty < x < 0 \quad \text{и} \quad 1 < x < +\infty.$$

3-й вариант:

$$\text{Пусть } x > 0, \text{ тогда из (1) имеем } 1 < x.$$
 (4)

$$\text{Пусть } x < 0, \text{ тогда из (1) следует, что } 1 > x$$
 (5)

Сравнивая полученные неравенства, приходим к противоречию, значит данная задача не имеет решения.

В зависимости от того, какой вариант решения будет выбран, будет объявлена и оценка за него - "удовлетворительно", "отлично", "неудовлетворительно".

В Ленинградском университете преподавательница А.Р.Белопольская провела эксперимент по обучению переводу с помощью ЭВМ.

Программированное обучение нашло себе применение и в военно-учебных заведениях, и в войсках. Вот как его оценивает министр обороны СССР Маршал Советского Союза Р.Я.Малиновский: "Большие перспективы в деле улучшения обучения слушателей, как свидетельствует опыт некоторых высших военно-учебных заведений, открывает метод программированного обучения с применением электронной техники. Этот метод позволяет повысить активность обучающихся, увеличить удельный вес их самостоятельной работы и дает возможность слушателям получить в установленные сроки более глубокие знания и в большем объеме". (Речь в Кремле в июне 1963 г. на приеме в честь выпускников военных академий).

Вопросам программированного обучения придается в настоящее время большое внимание и есть основания думать, что применение этого метода уже в недалеком будущем принесет большую пользу десяткам миллионов учащихся нашей страны.

В заключение остановимся на вопросе о соотношении между человеком и машиной. Эта проблема в другой форме возникает в виде вопроса: может ли машина мыслить? или: может ли машина быть умнее человека? Иногда в литературе (и не только фантастической) появляются предупреждения о возможном выходе машин из подчинения человеку, о бунте машин и пр.

При ближайшем рассмотрении этих вопросов оказывается, что их сложность заключается, прежде всего, в некоторой неопределенности понятий мысль, разум, сознание.

Например, если (немного утрируя) мышлением мы будем называть то, что делает только человек, то тогда, по определению, никто, кроме человека, мыслить не может.

А вот определение "разумной системы" по Эшби (см. /8/, стр. 34). "Разумной следует считать систему, способную выполнять подходящий отбор. Эта способность является критерием разумности. Иными словами, разумен тот, кто разумно действует". Далее это определение иллюстрируется примерами.

Диспетчер, регулирующий движение, проявляет свой разум тем, что отбирает такие комбинации светофора, при которых даже при длительных перегрузках пути не происходит несчастных случаев.

В биологических процессах подходящий отбор и разумность проявляются, в основном, в регулировании: живой организм, если он действует "разумно", ведет себя так, чтобы поддерживать себя живым.

Разумная машина может быть определена как система, которая использует информацию и обрабатывает ее так, чтобы достигнуть высокой степени подходящего отбора. И если принять это определение разумности, то мы, не колеблясь, можем сказать, что электронная вычислительная машина, которая за 3 минуты доказала 220 математических теорем (пусть даже простейших), является разумной.

Универсальный читающий автомат в Институте кибернетики в Киеве после его обучения смог выработать понятия прямоугольника, ромба, квадрата. Что это — разумная деятельность или нет? Если исходить из определения разумности, которое дает Эшби, то мы ответим: "Да, разумная". Ну а если учесть, что машину запрограммировал человек, он же ее сконструировал и изготовил, то получается, что вся заслуга принадлежит человеку, и, следовательно, машинное мышление здесь не при чем.

И все-таки еще раз о мозге: можно ли осуществить моделирование мозга? Исследователи-материалисты отвечают: мозг — это материальный орган, в основе его работы лежат материальные, а, значит, и познаваемые процессы (в том числе процессы передачи, хранения и переработки информации), так что невзирая на огромную трудность задачи, ее все-таки в принципе можно решить.

Однако от принципиальной возможности моделирования мозга до практического его осуществления очень и очень большая дистанция. Так, по мнению Эшби, для воспроизведения даже простого адаптивного элемента живой системы машине понадобилось бы несколько миллиардов лет. Джордж, автор монографии "Мозг как вычислительная машина", также призывает трезво оценивать возможности осуществления или иного моделирование биологической системы.

Когда задают вопрос: "Может ли машина быть умнее человека?", то обычно ссылаются на пример с шахматной машиной, которая обыгрывает даже опытного шахматиста.

Профессор Анохин справедливо замечает, что сопоставлять человека и машину по какому-либо одному избранному свойству человеческой деятельности невозможно. Кроме того, нельзя судить, "умнее" ли такая машина человека, хотя бы потому, что есть довольно много умных людей, которые никогда не играли в шахматы.

"На современном уровне, — пишет проф. Анохин, — достоинство машины — в тонкости производства отдельной операции. Но достоинство человека как высшего организма, его характерное свойство — в исключительном богатстве качественно различных деятельностей при безграничных затруднениях и изменениях внешних условий" (см. ^{18/}).

Сошлемся еще на мнение академика В.М.Глушкова, который говорит: "Машина должна быть в каком-то смысле умнее человека, иначе ее незачем делать. Но машины никогда не смогут стать умнее человечества в целом...

В будущем все более и более значительная часть закономерностей окружающего нас мира будет познаваться и использоваться автоматическими помощниками человека, минуя человеческое сознание.

Однако все наиболее важное в процессах мышления и познания всегда будет уделом человека".

Ну и, наконец, об опасениях насчет конфликта между людьми и машинами, о бунте машин и пр. Очевидно, эти опасения идут со времени выхода в свет книги Н.Винера "Кибернетика" (см. ^{/13/}), в которой знаменитый ученый предупреждает, что достижения науки должны использоваться разумными существами — людьми — разумно.

Автоматы и всевозможные кибернетические устройства сами по себе ни добры, ни злы, но они представляют значительную опасность там, где дряхлеющий экономический строй не может найти им иного применения, кроме выкачивания сверхприбылей. Но виноваты в этом не автоматы, а капиталистический строй жизни, основанный на жестокой эксплуатации человека человеком. Разве была в чем-либо виновата машина, обслуживающая фирму "Рено" (Франция), которая была запрограммирована владельцами фирмы так, что она дала ответ о выгодности сокращения выпуска продукции? В результате часть рабочих была с завода уволена, а их возмущенные товарищи разбили электронную вычислительную машину. Понятно, что подобные бунты рабочих против машин не являются выходом из положения. Выход — в организованной борьбе рабочих против своих угнетателей.

Что же касается боязни бунта машин, то как читатель понимает, никакой реальной опасности такого бунта в настоящее время нет.

Будем надеяться (и будем к этому стремиться), что будущее человечества — это будущее разумное и что в этом будущем разумному человеку будут помогать счастливо жить умные машины.

Что читать о кибернетике.

Считаем необходимым рекомендуемую литературу по кибернетике разбить на три категории:

- I. Общедоступные книжки и брошюры.
- II. Книги и статьи средней трудности.

III. Специальные работы и монографии по теории информации и кибернетике; философские проблемы кибернетики.

I.

1. Л.Гранлев, О кибернетике. Изд. "Знание", 1959, серия Наука и техника, вып. 28.
2. В.А.Трапезников, Автоматика и человечество, Изд. "Знание", 1962, серия Народный университет культуры, технико-экономический ф-т, вып. 8.
3. Ю.Соколовский, Кибернетика настоящего и будущего, Харьков, 1959.
4. Е.Сапарина, Тортила учится думать, Детгиз, 1963.
5. Ежегодник "Наука и человечество", 1963. Изд."Знание".

II.

6. Теплов, Очерки о кибернетике, Изд. второе, Московский рабочий, 1963.
7. Н.Кобринский, В.Пекелис, Быстрее мысля, Изд. ЦК ВЛКСМ "Молодая гвардия", 1959.
8. Возможное и невозможное в кибернетике, Сборник статей под редакцией академиков А.Берга и Э.Кольмана, Изд. АН СССР, 1963.
9. Кибернетику - на службу коммунизму, Сборник статей под редакцией акад. А.И.Берга, том 1, Государственное энергетическое издательство, 1961.
10. И.Полетаев, Сигнал, Изд. "Советское радио", 1958.
11. А.Яглом, И.Яглом, Вероятность и информация. Изд. 2-е, Физматгиз, 1960.
12. Н.Загоруйко, "За науку в Сибири", 1962.

III.

13. Н.Винер, Кибернетика или управление и связь в животном и машине, Изд. "Советское радио", 1958.
14. Н.Винер, Кибернетика и общество, Изд. иностранной литературы, 1958.
15. Н.Винер, Новые главы кибернетики, Изд. "Советское радио", 1963.
16. К.Шеннон, Работы по теории информации и кибернетике, Изд. "Иностранной литературы", 1963.
17. А.Ивахненко, Техническая кибернетика, Гостехиздат УССР, 1959.
18. П.Новиков, Элементы математической логики, Физматгиз, 1959.
19. А.Файнштейн, Основы теории информации, Изд. "Иностранной литературы", 1960.
20. В.М. Глушков, Синтез цифровых автоматов, Физматгиз, 1962.
21. А.Харкевич, О ценности информации, "Проблемы кибернетики", вып. 4, Физматгиз, 1960.
22. Л.С.Понтрягин, В.Г.Болтянский, Р.В.Гамкрелидзе, Е.Ф.Мищенко, Математическая теория оптимальных процессов, Физматгиз, 1961.

23. Дж. Нейман, Вычислительная машина и мозг. "Кибернетический сборник", вып. 1, Изд. "Иностранной литературы", 1960.
24. А.Тьюринг, Может ли машина мыслить? Физматгиз, 1960.
25. Г.Клаус, Кибернетика и философия, Изд. иностранной литературы, 1963.
26. С.Бир, Кибернетика и управление производством, Физматгиз, 1963.
27. Э.Браверман, Обучение машины распознаванию зрительных образов. Журнал "Автоматика и телемеханика", 1962, т.23, № 3.
28. Д.Б.Юдин и Е.Г.Гольштейн, Линейное программирование, Физматгиз, 1963.
29. Р.Беллман, И.Гликсберг, О.Гросс, Некоторые вопросы математической теории процессов управления, Изд. иностранной литературы, 1962.

Рукопись поступила в издательский отдел
4 ноября 1964 г.