МАЛЕНЬКАЯ ЭНЦИКЛОПЕДИЯ О БОЛЬШОЙ КИБЕРНЕТИКЕ

ВИКТОР ПЕКЕЛИС

МАЛЕНЬКАЯ ЭНЦИКЛОПЕДИЯ О БОЛЬШОЙ КИБЕРНЕТИКЕ



ВИКТОР ПЕКЕЛИС

МАЛЕНЬКАЯ ЭНЦИКЛОПЕДИЯ О БОЛЬШОЙ КИБЕРНЕТИКЕ



Scan AAW



ИЗДАТЕЛЬСТВО
·ДЕТСКАЯ ЛИТЕРАТУРА·
МОСКВА · 1970

6П2. 15(03)
П24

РИСУНКИ Б. БЕЛОВА

7—6—3

МОИМ ДРУЗЬЯМ-ЧИТАТЕЛЯМ

Много есть книг по кибернетике: и строго научных, и научно-популярных, и научно-художественных, и публицистических; много разных брошюр, учебников, справочников. Обширное кибернетическое море.

Не искушенному во всех тонкостях дела юному читателю трудно решиться выйти в плавание по кибернетическим волнам — можно и утонуть.

Значит, нужен лоцман, который бы помог пройти рифы, обогнуть мели, подсказал, в какую гавань плыть.

Действительно, неопытному, не знающему предмета, не знающему, где искать, что смотреть, приходится трудно. А как хочется заглянуть в новое да сразу увидеть все — от края до края!

Не перебирать же все пути-дороги, не искать же все входы-выходы! И зачем заново открывать открытое, искать найденное?

Скажем прямо: задашь вопрос конкретный — и ответа ждешь краткого, ясного. Так ответить может, вероятно, только энциклопедия.

В этой маленькой энциклопедии сделана попытка рассказать о большой кибернетике. Пришлось совместить в одной книге три, чтобы можно было одну читать, другую рассматривать, а третьей пользоваться как справочником.

В первой — небольшие рассказы об удивительном и необыкновенном в кибернетике. Во второй — детальные рисунки. Их с большой выдумкой сделал художник Борис Белов. Сделал красиво, просто и понятно — смотри, перед тобой вся суть предмета. Надеюсь, что вы с большим интересом будете рассматривать и кибернетическо-юмористические концовки, выполненные по мотивам советских и зарубежных художников. В третьей — энциклопедия от «А» до «Я». Хочешь — читай в алфавитном порядке, хочешь — можно букву на выбор, все равно перед тобой пройдут и раскроются основные термины кибернетики. Ведь каждая «буква» самостоятельна, а все вместе они составляют связное повествование о новой науке.

Из обширного запаса «букв» кибернетического «алфавита» здесь выбраны самые главные, самые важные. Дать все «буквы» не было никакой возможности. Один

лишь перечень терминов и предметов, содержащихся в энциклопедии по автоматике и электронике, изданной для специалистов, занимает более 100 страниц! А в самой энциклопедии четыре громадных тома по 500 страниц каждый. Даже в проекте будущего малого кибернетического словаря — малого! — перечень слов занимает 30 страниц убористого текста.

В этой книге-энциклопедии самые основные слова подобраны так, чтобы вы могли идти по ее страницам от простого к сложному и чтобы строй кибернетических «букв» при этом не нарушался.

Книгу можно начать читать со слова «Автомат». Оно позволит вам узнать немного об истории вопроса, даст начальные понятия об автомате. Затем идет рассказ об автоматизации. Здесь вы познакомитесь с сегодняшним уровнем техники. Это подведет вас к «Быстродействующей электронной вычислительной машине». Следующее «слово» — «Вычислительная математика», некоторые элементы теории, а «Вычислительная техника» — показ всего многообразия вычислительных машин. И так далее, буква за буквой...

Вы можете спросить: а зачем нам — ребятам-школьникам — целая кибернетическая энциклопедия, хотя и маленькая? Неужели нам надо знать всевозможные кибернетические «тонкости», неужели нам надо знакомиться не «вообще» с кибернетикой, а с разными ее «частностями», показанными во многих буквах «кибернетического алфавита»?

Отвечу прямо: да, надо! Почему? Вот только один пример. На XVI съезде комсомола выступал летчик-космонавт СССР, дважды Герой Советского Союза, кандидат технических наук А. С. Елисеев. «Наш век, — сказал он, — называют веком атома и космических достижений. Но это еще и век вычислительной техники. Недалеко то время, когда не только космический корабль, но даже каждый самолет, автомобиль и станок будут оснащены компактными вычислительными машинами. Вычислительная машина становится обычным инструментом исследователей, каким до недавнего времени была логарифмическая линейка».

Значит, и вам, будущим труженикам нашей Родины, предстоит встреча с миром электронно-вычислительных машин. К этому надо готовиться уже сегодня.

Автор и издательство свою работу закончили. Но жизнь книги только начинается. Подлинная ее жизнь начнется, когда вы возьмете ее в руки. Чтобы знать, как будет жить эта книга, что нужно сделать автору и издательству для ее улучшения, пишите о ваших впечатлениях, замечаниях и пожеланиях по адресу: Москва, А-47, ул. Горького, 43. Дом детской книги. Это поможет в дальнейшей работе над «Маленькой энциклопедией о большой кибернетике».

Виктор Пекелис

ИЗУЧАЙТЕ КИБЕРНЕТИКУ!

Наш век можно назвать веком кибернетики. Сегодня уже нельзя представить себе науку, технику, промышленность без электронных вычислительных машин, автоматов, без новых методов, которые дает человеку наука об управлении.

Число электронных машин растет с каждым днем. Это поистине незаменимые орудия человека в умственном труде. С их помощью мы познаем природу, управляем ею. В каждой новой машине — помощнице человека — мысль ученого, талант конструктора, умение рабочего. Вчера умные машины были волшебными созданиями людей, сегодня — это уже повседневность. Куда бы вы ни пришли — в институт, на завод, в учреждение, — везде вы встретитесь с машиной, помогающей человеку в работе, которая требует не физических усилий, а умственных. Машины управляют автоматическими заводами, ведут космические аппараты, регулируют уличное движение, выполняют математические вычисления, ставят диагноз, планируют, обучают, учитывают, рассчитывают. Да, немалый труд мы взвалили на плечи электронных помощников!

Вам, молодым, предстоит не только овладеть такой сложной техникой, но и создавать и строить новые, еще более совершенные машины, развивать науку, которой они подчиняются, разрабатывать неизвестные пласты кибернетических знаний.

Немало удивительного и интересного вам предстоит сделать. Для этого надо много знать и уметь. А чтобы знать и уметь, надо много и упорно учиться.

Я хочу напомнить вам слова В. И. Ленина:

«Учиться, учиться и учиться!»

В них широкий и глубокий смысл: не просто учиться, но быть всегда на уровне самых передовых знаний, всегда идти в ногу со своим временем, быть, как говорят моряки, впередсмотрящим, видеть далеко вокруг себя.

Наукой овладевают только знающие. Если вы хотите стать повелителями умных машин, творцами электронных роботов, быть открывателями новых дорог в кибернетике, изучайте основы кибернетической науки, овладевайте богатством знаний, которые для вас добыли люди старших поколений, ваши деды и отцы.

Полвека, отданные мной науке, позволяют мне сказать вам несколько слов напутствия.

Первое, что бы я вам пожелал, — изучайте кибернетику. Посмотрите, даже в маленькой энциклопедии о кибернетике — от буквы «А» до буквы «Я» — сосредоточено множество богатств, открытых разумом людей. А сколько их в большой науке, в ее глубинах!

Итак, изучайте, знайте кибернетику.

Второе, что бы я вам пожелал, — любите совершенные создания рук человеческих: электронные вычислительные машины. Добрые помощники людей еще не сказали последнего слова. Может быть, кому-либо из вас удастся заставить их открыть свои не виданные до сих пор возможности.

Итак, изучайте электронную машину, ее историю, овладевайте электроникой, мечтайте о будущем электронных вычислительных машин.

Третье, что бы я вам хотел пожелать, — помните: в каждом деле есть вершки и корешки. Заманчиво сразу же попасть на вершину и оглядывать с высоты необозримые горизонты. Но не забывайте: все новое, заманчивое, эффектное, если оно только настоящее, всегда уходит своими корнями в глубину. Поэтому знание основ обязательно. Нет ничего страшнее в науке да и в технике верхоглядства.

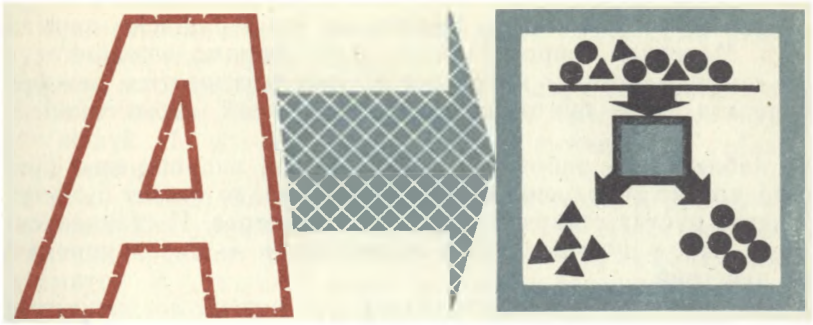
Итак, изучайте основы основ, не забывайте, что в фундаменте нового знания, новой техники заложены математика, теория информации, физика, электроника, металловедение и много других наук.

И последнее. В любом деле важна увлеченность, целенаправленность, умение видеть главное. А как этого добиться без любви к предмету, без преданности ему!

Пройдет время, и вы, может быть, вспомните какую-либо «букву» кибернетического алфавита из этой энциклопедии, которая вам дала толчок в большую науку или в мир увлекательной техники.

В добрый путь, будущие ученые-кибернетики, конструкторы электронных машин, программисты, операторы, монтажники! Желаю вам успехов!

Академик А. БЕРГ,
Герой Социалистического Труда, председатель Научного Совета по комплексной проблеме «Кибернетика» Академии наук СССР.



АВТОМАТ

Агрегат, представляющий собой систему механизмов и устройств (электронных, электрических, пневматических, гидравлических), в которой полностью механизированы, то есть выполняются без непосредственного участия человека, процессы получения, преобразования, передачи и использования энергии, материала или информации.

ТАЙНОЕ СЛОВО ДЕДУШКИ САМО

Есть такая книжка сказок Евгения Пермяка. Называется она «Чудесная шкатулка». В этой шкатулке лежит сказка о старике — потомственном уральском рабочем дедушке Само, добром волшебнике, который знал тайное слово. Стоило его произнести, как лопата становилась самокопательной, топор — саморубным.

Какому инструменту ни передаст слово дедушка Само, этот инструмент сам по себе работать начинает. Даже станки саморезные появились. Сами собой резали.

Печи-самоварки — стой да приказывай: сами шихту загружают, сами сталь выпускают.

Когда умер дедушка Само, тайное слово он в могилу не унес, а развеял его по заводам цветочной пылью. «Придет такое время, — говорится в сказке, — что эта самая цветочная пыль такие плоды даст, что и сказать невозможно. Каждую машину, каждый станок именем дедушки Само прозывать будут, а они сами по себе работать станут».

Если бы был жив старый рабочий дедушка Само, он увидел бы, что цветочная пыль, с помощью которой он развеял по заводам заветное слово, дала отличные плоды — появились и самоработающие станки, и самоработающие машины.

...В цехе все необычно. Очень светло. Просторно. Нет рабочих. Лишь мерный гул двигателей и резкие звуки инструментов говорят о том, что здесь идет работа.

Подойдем поближе к станку. Первое, на что обращаешь внимание, — это фреза. Материал сопротивляется, а она упрямо вгрызается в толстую стальную пластину, и постепенно вырисовываются контуры фигурной детали, как будто нарочно очерченной сложнейшими кривыми.

Когда наблюдаешь работу обычного станка, видишь, как фрезеровщик то подкрутит небольшое колесико-штурвал, то тронет чуть-чуть рычаг, то вдруг пустит станок медленнее, то быстрее. И становится ясно, что к чему, зачем нужны все эти манипуляции — серия управляющих станком действий.

Здесь же, у самоработающего станка, все непонятно: вращаются детали, движется фреза, меняя еле заметно свой ход, а кто ею управляет? Как станок без человека «разбирается» в сложном процессе обработки?

Ответ начнем издалека.

В древности византийский император восседал на золоченом троне в тени золотого дерева с золотыми ветвями и золотыми листьями. На ветвях сидели золотые птицы. Два льва из чистого золота, словно живые, глядели на приближающегося посетителя со своих возвышений слева и справа от трона. Но не это сплошь золотое великолепие поражало людей. Когда кто-либо приближался к трону, искусственные птицы начинали петь, а львы — громоподобно рычать. Люди, конечно, при этом падали ниц перед троном. И вот, когда они, придя в себя, поднимали глаза, то видели, что император и его трон исчезли: все сооружение было поднято вверх. Теперь божественные очи императора метали молниеподобные взгляды с высоты.

Все эти таинственные манипуляции — пение птиц, рычание львов, исчезновение трона — проделывали секретные механизмы искусно сделанного автомата.

А знаменитый древнегреческий математик и механик Герон Александрийский оставил описание целого «автоматического» театра. Вот как шло в нем удивительное представление, сюжет которого был заимствован из так называемой малой «Илиады».

В первой картине данайцы чинят суда перед спуском в воду, пилят, рубят, сверлят и со стуком вбивают гвозди. Во второй картине ахейцы тянут суда в воду. При следующем открытии дверей зритель видит небо и спокойное море, по которому плывут под парусами в кильватерной колонне суда, возле них ныряют дельфины. Затем море становится бурным, и суда сбиваются в кучу. В четвертой картине на сцене стоят герои: Навплий рядом с Афиной, и в его руке загорается факел. В пятой картине видно кораблекрушение. Аякс плавает в волнах, затем слышится гром, Аякса поражает молния, и он исчезает; исчезает также и Афина.

Все эти сложные действия разыгрывали механические фигуры. После каждой картины автоматически закрывались двери, автоматиче-

ски же происходила смена декораций, двери опять сами открывались, и фигурки начинали представление.

И в более позднее время на протяжении двух тысяч лет умелые руки искусных механиков строили различные автоматы-игрушки, поражавшие людей. Но все они или почти все служили для забавы и развлечения знати.

На первый взгляд может показаться, что такие игрушки — бесцельные творения для увеселения бездельников. На самом же деле «чудеса» механики прошлого показывают начало пути, которым шло развитие автоматов. В основу их были положены достижения техники того времени — века механической энергии текущей воды, силы ветра или сжатых пружин.

Пружины приводили в движение сложнейшие системы зубчатых колес, рычажков, штанг, кулачков, винтов и других деталей всевозможных автоматов.

Поэтому можно смело сказать, что механические игрушки-автоматы были неким подобием часов.

Как известно, часы — одно из самых совершенных созданий человека в технике. Именно часы, как говорил К. Маркс, первый автомат, созданный для практических целей, подали человеку мысль применить автоматы на производстве. Не случайно известный изобретатель механических игрушек француз Жак Вокансон пробовал строить ткацкий станок, который послужил образцом для более совершенного станка-автомата, созданного Жаккардом.

Станок Вокансона заменил пятьдесят ткачей. Не прошло и двадцати лет, как автоматический станок появился на многих шелкоткацких фабриках Франции и Англии.

Победно зашагала техника. Машины появились не только в текстильной промышленности, но и в металлообрабатывающей, горной и других отраслях. Повсюду шел бурный процесс внедрения машин.

Особенно большое значение имело изобретение автоматического суппорта токарного станка. Русский механик Андрей Нартов, а затем англичанин Модсли заставили резец автоматически перемещаться вдоль детали, обрабатываемой на токарном станке. Впервые рука человека была освобождена от непосредственной обработки материала.

Пар во всю силу «легких» прокричал миру о своем могуществе. Паровой двигатель — удобный источник энергии — заставил отойти на второй план живой двигатель: лошадей, волов, мулов, ослов.

Но век пара не наступил бы, если бы требования времени не заставили талантливого русского механика Ивана Ползунова придумать к своей «огнедышащей махине» поплавковый регулятор, с помощью которого «вода, огонь и пар сами себя в движении держали». Паровые двигатели вряд ли смогли бы проникнуть всюду и везде, если бы развитие техники не натолкнуло английского изобретателя Уатта на идею паровой машины с центробежным регулятором скорости.

Люди обрели неведомую дотоле силу. Перед толпами восхищенных двигались и вращались не всевозможные «куриозные», ради забавы созданные, а настоящие «деловые» машины-труженики, машины-рабочие.

Регулирующие устройства первых машин оказались всепроникающими. Их стали приспосабливать к самым разнообразным агрегатам. А с наступлением века электричества с его громадными мощностями, скоростью и большой точностью постепенно вся техника оказалась во власти автоматики. Автоматизация стала основной тенденцией развития техники.

Теперь автоматы — всюду.

Чтобы разобраться во множестве автоматических машин, инженеры провели их классификацию. Автоматы различают по их назначению: технологические, транспортные, военные, вычислительные и т. д.

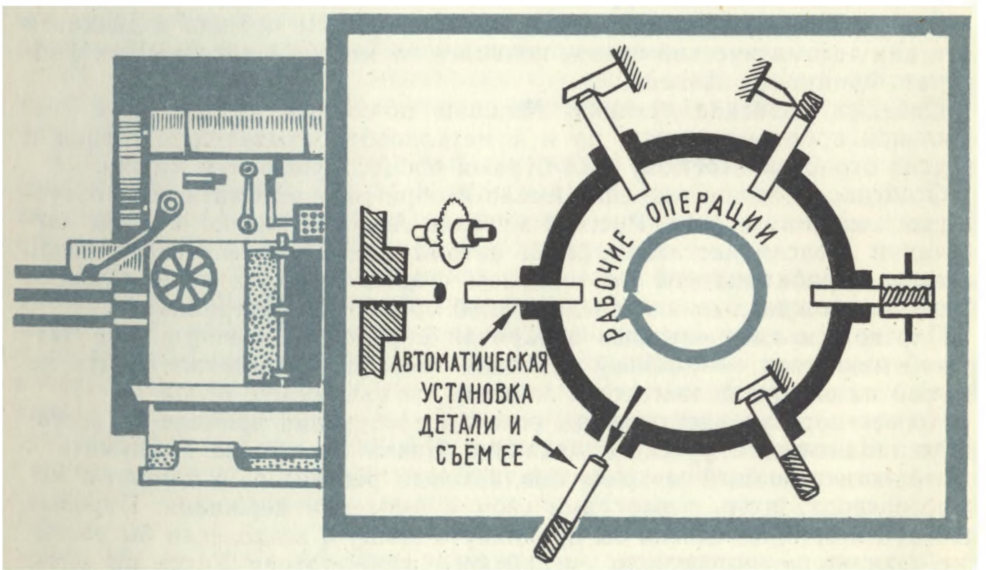
В наше время в связи с развитием кибернетики автоматы стали различать и независимо от их назначения, по так называемому информационному признаку.

Что это за признак?

●

ПОСМОТРИМ, КАК РАБОТАЕТ АВТОМАТ. Например, станок-автомат, изготовляющий болты.

Неуловимое для глаза движение рычага — и латунный стержень, из которого



Так работает автомат.

делают болты, выдвинулся на точно отмеренную величину. Поворот держателя — и заготовка приближается к резцам. Сбегает золотистая, мелко завитая стружка. Несколько секунд — и стерженек обработан на всю длину. Резцы отходят, еще поворот — и вместо них включаются в работу новые. Снова сбегает стружка — происходит нарезка резьбы. Одновременно снимаются фаски и обрабатывается плоская пятка головки болта. Еще несколько секунд — и новый резец отрезает болт от стерженька. Звякнув о металлическую стенку бункера, он ложится среди точно таких же изделий. А станок уже начал изготовление следующего болта.

Как тут не вспомнить сказку про дедушку Само! Даже специалисты говорят, что, несмотря на разнообразие всех видов автоматических процессов, внешние проявления в известном смысле едины и общи. Общим внешним признаком является впечатление чего-то «самостоятельного», которое они производят. Процессы протекают как бы «сами собой», «самопроизвольно».

Все это так, скажете вы, но что же все-таки определяет в автомате его «самостоятельность», «самопроизводительность»?

Тут-то и следует рассказать о важнейшем признаке современного автомата — информационном.

Что бы ни делал автомат, его рабочие циклы определяются программой. Ее можно задавать, например, металлорежущему станку копировальным устройством: все изгибы контура «ощупывает» специальное приспособление и передает резцу для обработки детали. Кинопроектором-автоматом командует кинолента, проходящая через лентопроводящий механизм.

Программу можно задать и отверстиями на перфокартах или перфолентах, или в виде магнитофонной записи, или любым другим способом, позволяющим снять, записать и передать команду.

Самую простую программу для работы автомата каждый из вас держал в руках. Вы входите в метро. Опускаете в прорезь электронно-оптического турникета монету и тем самым задаете программу — «пропустить». Монета служит программой и для торговых автоматов, отпускающих газированную воду, спички, карандаши, газеты, тетради.

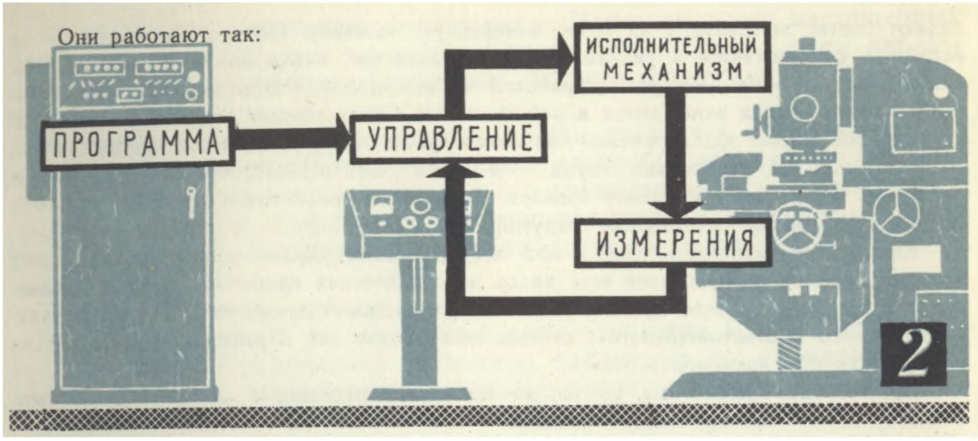
В таких автоматах путь информации — что и как делать — ясен. На схемах он показан черной стрелкой. Это разомкнутая система управления. Здесь один поток информации

Но бывают более сложные автоматы. Им в процессе работы необходим дополнительный сбор информации.

Например, измерение температуры, размеров, электрического напряжения и т. п.



Автомат с разомкнутой системой управления.

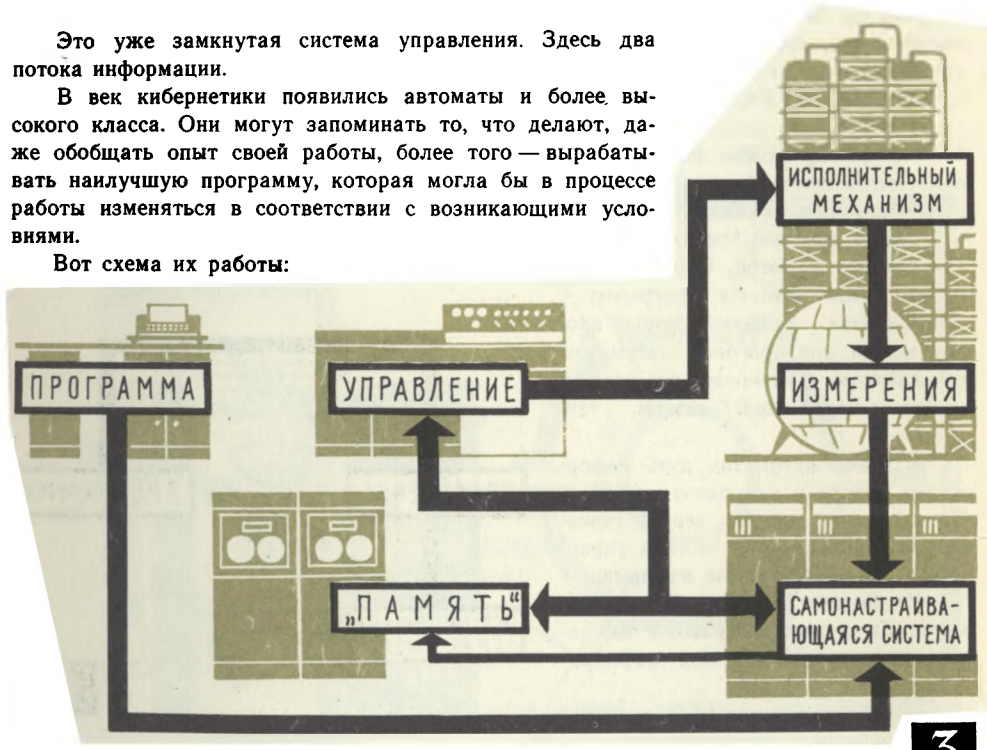


Автомат с замкнутой системой управления.

Это уже замкнутая система управления. Здесь два потока информации.

В век кибернетики появились автоматы и более высокого класса. Они могут запоминать то, что делают, даже обобщать опыт своей работы, более того — вырабатывать наилучшую программу, которая могла бы в процессе работы изменяться в соответствии с возникающими условиями.

Вот схема их работы:



Этот автомат способен самостоятельно настраиваться на нужный ритм работы.

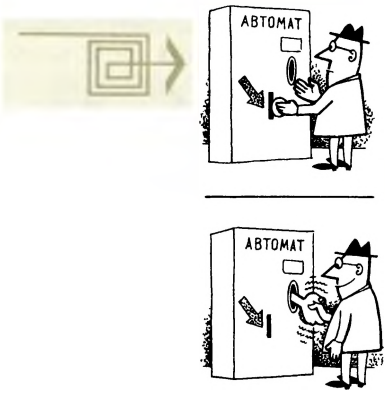
Здесь программа определяет конечную цель работы — что мы хотим получить от автомата. Это первый поток информации. Действующая программа, управляющая работой, поступает из блока оперативной памяти. Это второй поток информации. Третий поток, как нетрудно догадаться, идет от блока измерений.

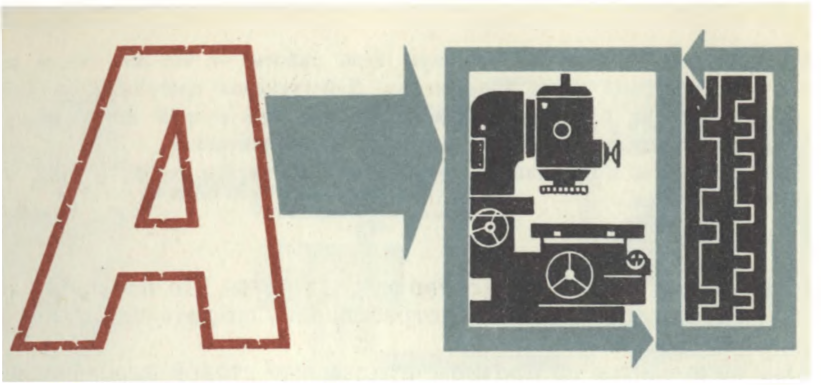
Бывают автоматы и с большим числом потоков информации. У них, конечно, возможности еще шире.

●

Мир автоматов в наши дни очень многообразен. Он все время расширяется и усложняется. Поэтому потребовалось создать для них и стройную научную теорию.

Основы ее покоятся на прочном фундаменте старой классической теории автоматического регулирования. Но теперь ей приходится решать необычайно сложные задачи, чтобы можно было создавать надежные, хорошо работающие автоматы. В теории автоматов, например, приходится определять так называемую устойчивость систем и тем вести борьбу с различными отклонениями в работе. Надо изучать чувствительность автоматов. Ведь в процессе работы свойства систем регулирования не остаются постоянными. Есть еще много других сложных проблем, которые решаются теорией автоматического регулирования, способствуя успешному развитию автоматов.





АВТОМАТИЗАЦИЯ

Этап машинного производства, характеризуемый освобождением человека от непосредственного выполнения функций управления производственным процессом и передачей этих функций автоматическим устройствам.

ОСНОВНАЯ ЛИНИЯ

Задумывались ли вы когда-нибудь, сколько вещей делают в нашей стране за день? Конечно, много. Наверное, миллиарды? Или больше?

Возьмем для наглядности несколько самых различных примеров.

Свыше миллиона зубчатых колес в день выпускает наша промышленность. Если даже толщина каждого из них не больше 10 миллиметров, то и тогда, сложенные одно на другое, они поднялись бы в небо выше самой высокой на земле горы — Джомолунгмы.

Автомат, изготовляющий болты, за минуту выбрасывает их сто штук.

Автомат, делающий бутылки, изготовляет их свыше шести тысяч в час.

На московской фабрике «Красный Октябрь» каждую минуту бывают готовы три с половиной тысячи конфет.

На мясокомбинатах за один час успевают сделать сто двадцать пять тысяч котлет.

За день на одном заводе-автомате выпекают тридцать тысяч батонов. Ведь только Москву обслуживает около десятка пекарен-автоматов. И пекут они не одни лишь батоны!

Ежедневно фабрики шьют миллионы комплектов одежды для населения нашей страны.

Конечно, невозможно было бы вообразить, чтобы десятки, сотни тысяч, миллионы разных нужных и полезных вещей делали люди вручную. Их делают машины, и не простые машины, а автоматы.

Сколько автоматов (помимо производящих материальные, осязаемые



Посмотрите, как человек постепенно освобождал себя от утомительного труда у станка: 1 — здесь рабочий выступает и как двигатель, и как часть исполнительного механизма (он же управляет работой); 2 — применил двигатель; 3 — создал суппорт; 4 — копировальные станки освободили человека от функций контроля; 5 — на заводах-автоматах человек вообще освобожден от непосредственного участия в производстве.

вещи) и различных автоматических устройств контролируют работу машин, осуществляют управление процессом и производством!

Внедрение всей этой великой армии автоматических машин и устройств, средств контроля и управления в производство называется автоматизацией.

Вспомним, как трудился рабочий до самого последнего времени. Он подавал материал в машину и принимал его от машины. Рабочий определял, хорошо ли машина работает — обрабатывает материал. Рабочий же следил за ходом машины, регулируя ее, когда в этом появлялась необходимость.

При автоматизации все эти процессы выполняют машины. Мало того: самостоятельные, обособленные ранее операции образуют теперь непрерывный поток производственного процесса, «зеленую улицу», по которой изделие проходит без всякого соприкосновения с руками человека.

Когда же нужно вводить автоматизацию на производстве? Какие для этого должны быть причины?

Одна нам уже известна: массовость. В любом случае значительно легче сделать десять одинаковых предметов, чем десять разных: одни и те же операции, те же размеры предмета и те же технологические процессы. А когда нужны не десятки, а десятки тысяч, миллионы? В однородности выпускаемой продукции и заключается одна из основных причин автоматизации производства.

Есть и другая.

Очень часто не только в лабораториях ученых, но и в заводских и фабричных цехах приходится измерять и регулировать такие процессы, которые вообще не регистрируются органами наших чувств. Разве мы улавливаем напряженность электрического поля, интенсивность радиации или присутствие невидимых лучей? Конечно, нет. Нам приходится прибегать к помощи автоматов. Значит, и там, где человеческие органы чувств не могут точно определить тот или иной нужный параметр — постоянную величину — или где быстроты человека недостаточно для реакции на изменения в процессе работы, обязательно включают в действие автоматы.

Есть и третья причина.

Существуют отрасли производств, работа в которых для человека опасна. На многих химических заводах, производящих серную кислоту, красители для текстильной промышленности, удобрения для сельского хозяйства, в ряде случаев промежуточные операции вредны для здоровья, а некоторые промежуточные продукты могут быть ядовитыми или взрывчатыми. Здесь-то прежде всего и работают автоматы.

В автоматизации производственных процессов огромную роль призвана сыграть кибернетика. Кибернетика «входит» в автоматизацию не только в виде работающих в промышленности электронно-вычислительных машин, но и в виде ничем не примечательных внешне, удивительно «умных» приборов.

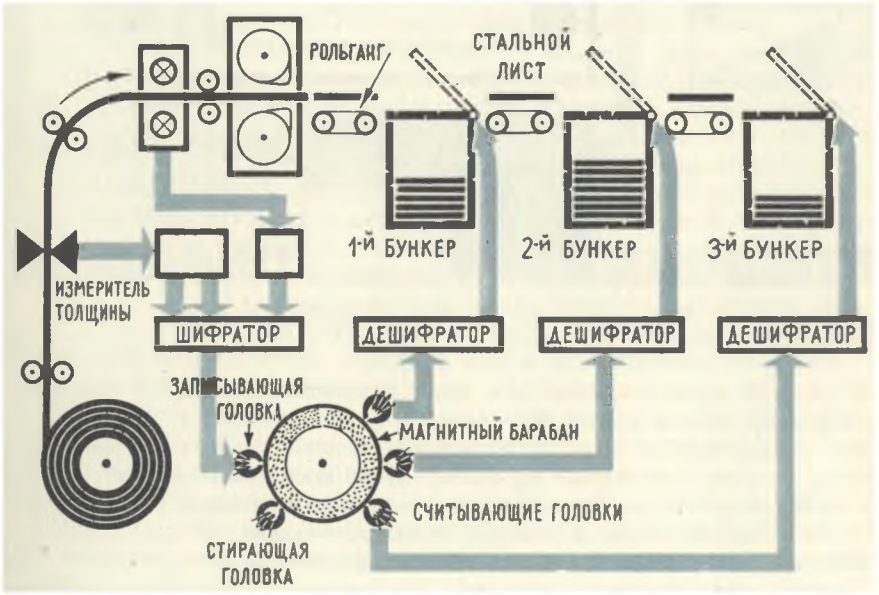
Именно с этой целью мы и попытаемся разобраться в работе двух очень различных устройств, позволяющих решать задачи автоматизации некоторых технологических процессов. Поможет нам это сделать специалист в области технической кибернетики.

●

СНАЧАЛА МЫ ПОЗНАКОМИМСЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ В ПРОЦЕССЕ АВТОМАТИЗАЦИИ «ИСКУССТВЕННОЙ ПАМЯТИ».

Представьте себе, что металлическая лента раскручивается с рулона и разрезается на куски. Причем листы должны разбраковываться в зависимости от толщины, а толщина металлической ленты неодинакова и поэтому должна постоянно измеряться. Вы находите, что здесь нет ничего трудного? А трудность есть. Заключается она в том, что между моментом замера ленты и моментом входа листа в бункер, куда он должен быть уложен, проходит время. Поэтому в зависимости от толщины листа надо, чтобы открывались разные входы в разные бункеры. И открывались как раз в тот момент, когда лист прошел расстояние от места замера и подошел уже к соответствующему бункеру.

Чтобы автоматизировать этот технологический процесс, с рольгангом, протягивающим металлический лист, связывают магнитный барабан. На нем, как на обычном магнитофоне, можно производить магнитную запись. У барабана одна записывающая



Автомат для измерения толщины стальных листов и сортировки их по бункерам.

головка, одна стирающая запись головка, а считывающих ровно столько, сколько бункеров в установке.

Непрерывно измеряемую толщину листа датчик превращает в электрический сигнал. Сигнал зашифровывается в зависимости от толщины листа и записывается на магнитном барабане. Вращение магнитного барабана согласовано с движением рольганга. Место барабана с записью оказывается около первой считывающей головки тогда, когда лист проходит к первому бункеру, около второй — когда лист у второго бункера, и т. д.

С каждой считывающей головкой связан дешифратор. Он реагирует только на сигнал, которым зашифрована толщина листа для его бункера. Поэтому, если толщина листа соответствует второму допуску, то на шифр прореагирует второй дешифратор, он пропустит лист во второй бункер.

Таким образом и происходит разбраковка металлических листов.

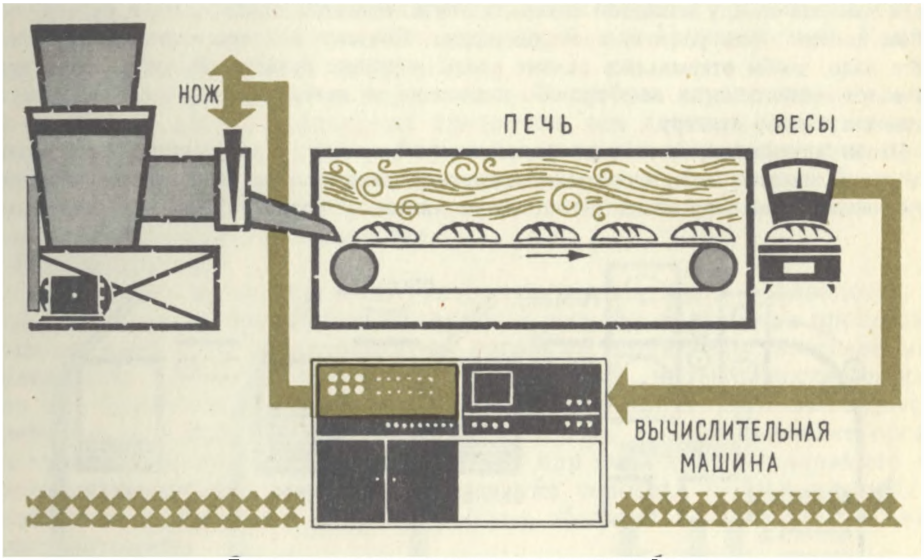


Схема автомата для определения веса булок.

Вторым примером послужит нам один из возможных способов автоматизации процессов резания теста для выпечки булок.

Вес каждой испеченной булки должен быть точным. Тесто же неравномерно по плотности, поэтому одинаковые по объему куски могут иметь разный вес. Выход, казалось бы, простой: надо автоматически взвешивать испеченную булку и управлять ножом, разрезающим тесто, в зависимости от взвешивания. Но при таком подходе мы забываем, что булка взвешивается намного позже того, как кусок теста отрезан.

Поэтому управлять ножом надо не в зависимости от результатов взвешивания каждой булки, а по результатам обработки данных от взвешивания большого числа булок. Оказывается, и в таком «нехитром» производстве нужна серьезная статистика!

Автоматизированную систему надо снабдить специализированной вычислительной машиной. Каждая булка при таком способе автоматически взвешивается, и машина непрерывно вычисляет статистические показатели по данным этого взвешивания. А нож, разрезающий тесто, перемещается в строгой зависимости от полученных показателей.

●

Итак, мы познакомились с единичными, как принято говорить, примерами автоматизации — автоматизацией отдельных процессов.

В последнее же время все шире и шире захватывают позиции комплексная и полная автоматизация.

Комплексная автоматизация охватывает все машины и агрегаты цеха или участка. Весь автоматизированный участок становится единой взаимосвязанной системой, которая неуклонно и четко, в требуемой последовательности выполняет отдельные операции.

Полной автоматизацией считают такую систему автоматических машин, аппаратов, устройств, когда какое-либо изделие, деталь или продукт получают без непосредственного участия человека на всем протяжении производственного процесса.

Производство, автоматизированное полностью, — как оно выглядит? Ведь это нечто грандиозное по объему обрабатываемого материала, числу технологических операций, по количеству поступающей и обрабатываемой информации! Это и представить себе даже трудно.

Между тем такой «автоматизированный колосс» разработан, например, в Научно-исследовательском институте технологии автомобильной промышленности и на заводе имени И. А. Лихачева. По их системе информация о запуске деталей в производство и о выпуске, информация о работе оборудования передается с производственных участков в вычислительный центр завода. На каждом участке — свой пункт оперативного управления. Здесь идет непрерывный контроль за ходом производства, ведется регулирование. Контролируется все: от часовых и сменных графиков до запаса заготовок, работы оборудования, набора инструментов и т. д. У цехового пункта оперативного управления свои задачи: он следит за ходом выполнения графика межцеховых подач деталей. Его недремлющее око всегда в курсе всех межцеховых дел.

Производственные программы для каждого участка, для каждого цеха, для разных отделов заводоуправления рассчитывает вычислительный центр завода. Здесь же, в вычислительном центре, машины составляют и оперативные сводки выполнения программ.

Такая система автоматизации полностью себя оправдала. И примеру лихачевцев последовали Московский завод малолитражных автомобилей, Заволжский моторный завод, Ярославский моторный завод и другие предприятия.

Автоматизация производственных процессов дает огромное повышение производительности труда. Это бесспорно. А вот поможет ли авто-

матизация в управленческих работах? Не только поможет, но и помогает уже весьма и весьма значительно.

Теперь управление народным хозяйством нельзя представить себе без автоматизации. Почему? Да потому, что в нашей стране в 1962 году только службой учета занималось около 3 миллионов человек. Всего в административно-управленческой службе работает 10 миллионов человек. 10 миллионов экономистов, плановиков, нормировщиков, бухгалтеров, счетоводов, проектировщиков!..

А масштабы производства и темпы развития с каждым годом растут. Потоки информации — плановые и отчетные документы, производственная документация, банковские операции и многое, многое другое — требуют, чтобы их обрабатывали в самые сжатые сроки.

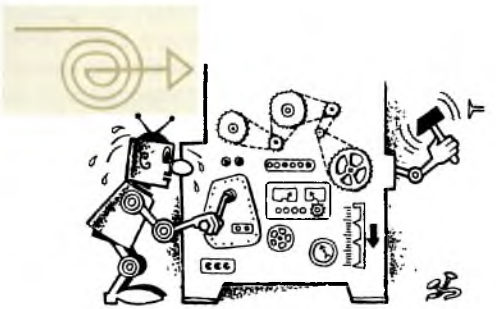
Увеличивать еще число работников управления? Это может привести к тому, что половина всего населения страны будет занята в управленческом аппарате. А от этого снизится число людей, непосредственно занятых в сфере производства. Значит, нужен не количественный рост, а качественный скачок. Им и стала автоматизация управления.

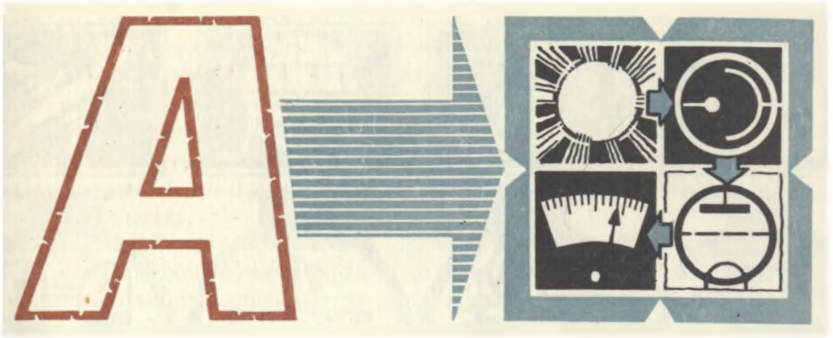
Попробуем точно ответить на вопрос, к чему сводится управленческая деятельность. Обычно — к выработке, передаче, хранению и переработке информации. Иными словами, это наблюдение за ходом производства, контроль качества продукции, составление производственной документации, размножение и рассылка документов, связь между отделами производства, регистрация и сортировка документов, вычислительные работы — как видите, дел немало.

Представляете, какое количество информации надо обработать, когда приходится управлять таким гигантским хозяйством, как хозяйство нашей страны? У нас ежегодно приходится выполнять десятки, даже сотни миллиардов вычислительных операций!

Поэтому теперь без автоматизации, без электронно-вычислительных машин невозможно представить управленческую и административную работу.

Итак, автоматизация везде и всюду.





АВТОМАТИКА

Отрасль науки и техники, которая занимается теорией и построением систем управления, работающих без участия человека.

СЕКРЕТ МОГУЩЕСТВА — «ОРГАНЫ ЧУВСТВ» И «МЫШЦЫ»

Обычно, когда рассказывают об автоматике, то начинают с того, как, проснувшись рано утром, человек и не замечает, что вступает в мир автоматики, хотя вокруг всё делают автоматы. Разбудили его часы — автомат-будильник. Воду в ванную подает автоматическая насосная станция. Температуру горячей воды регулирует специальный автомат. Продукты свежими к завтраку сохранил холодильник-автомат. Хлеб тоже выпекал завод-автомат. Спустились вы с десятого этажа на лифте-автомате. Идете в школу — дорогу вам указывает автоматический светофор. Перечень всевозможных автоматов можно продолжать очень долго.

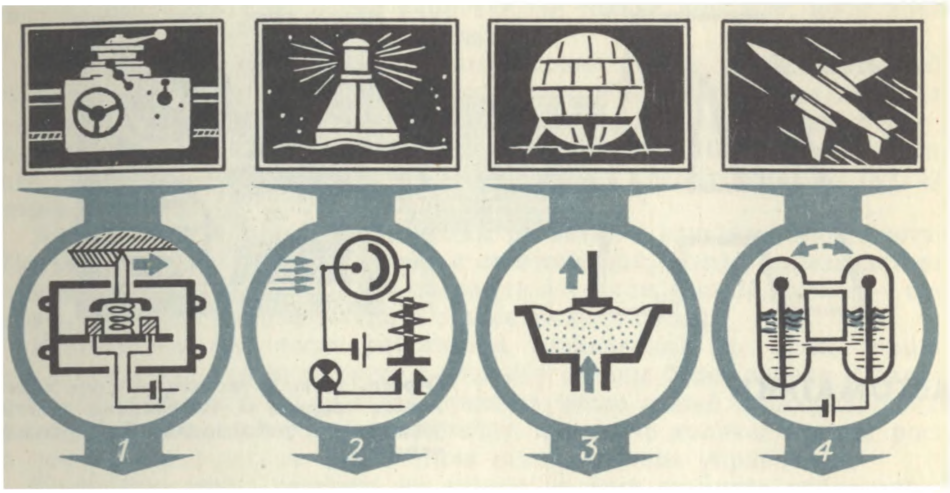
Но если вы внимательно начали читать этот раздел, то обратили внимание на другое: речь у нас должна идти, как сказано в определении автоматики, о построении автоматических систем, действующих без непосредственного участия человека.

Все знают, что современная техника да и вся наша жизнь невозможны без автоматики. Без автоматов не могли бы подниматься в космос ракеты, летать самолеты, погружаться в глубины океана подводные лодки, двигаться по магистралям тяжеловесные поезда. Не могли бы работать огромные металлургические заводы и химические комбинаты, электростанции и шахты.

И невольно возникает вопрос: а благодаря чему автоматические устройства проникли всюду, обрели такое могущество?

●

Дело в том, что люди наделили автоматы почти неограниченными возможностями. И первое, что дали им, — «органы чувств»: ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ.



Датчики: первый (1) работает «на ощупь»; второй (2) — «зрение» автоматов; третий (3) измеряет давление; четвертый (4) — «вестибулярный аппарат» автоматов.

Их в технике называют датчиками. Датчики воспринимают от того или иного объекта какие-либо физические или химические изменения и передают автоматическому устройству.

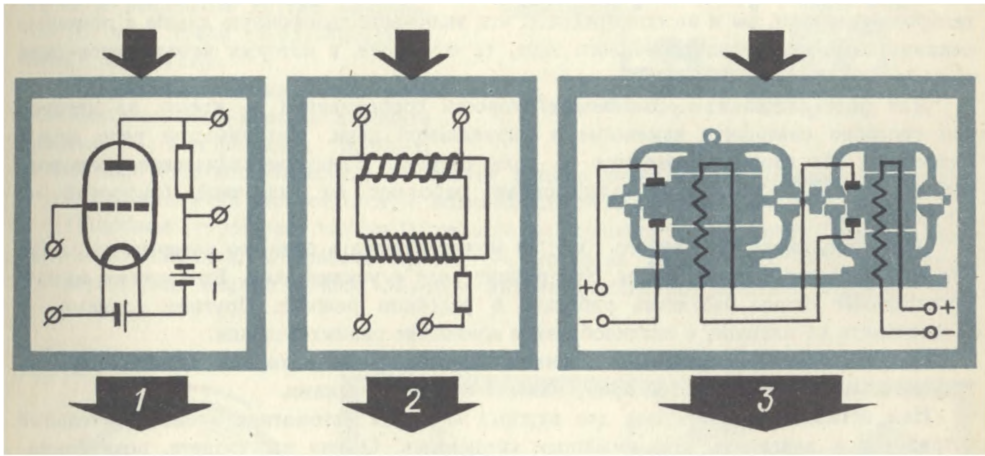
ДАТЧИК — «конечный выключатель» (*1*), — ощупывая деталь, останавливает станок, когда она готова. Датчик-фотоэлемент (*2*) зажигает бакен на реке, когда стемнеет. Датчик-микрофон по сигналу сирены откроет ворота пожарного депо. Датчик-индикатор уловит недопустимую (выше нормы) концентрацию вредного газа в шахте и даст сигнал об опасности. Датчик «вкуса» точно определяет степень концентрации раствора и командует, например, что нужно прибавить или убавить кислоту или другое химическое вещество. Есть датчики, которые реагируют на положение механизма относительно направления силы тяжести (*4*). Они обеспечивают равновесие какого-либо устройства в покое и движении. Другие датчики с большой точностью определяют температуру, и даже очень высокую, давление (*3*), «видят» невидимые инфракрасные и ультрафиолетовые, рентгеновы и космические лучи. Датчики измеряют напряженность электромагнитного поля, концентрацию ионов, малейшие колебания воздуха, прикосновение пылинок друг к другу, движение электронов и многое такое, что недоступно органам чувств человека: зрению, слуху, осязанию, обонянию, вкусу. Практически они способны проникать всюду, из любого места, где работает механизм, посылать сигналы — точную информацию большой ценности о том, как работает машина, как идет самый сложный технологический процесс.

Это одна из причин могущества автоматики. С ее развитием все точнее становятся многообразные чувствительные датчики, все больше и больше их появляется. Но вот беда. Очень часто сигналы датчиков бывают слабыми, такими слабыми, что устройства не могут на столь незначительную величину реагировать.

Тогда на помощь приходят УСИЛИТЕЛИ. Они многократно увеличивают мощность сигнала. Существует много типов усилителей: электронные (*1*), магнитные (*2*), гидравлические, пневматические, пневмоэлектрические и даже электромашинные (*3*). Для них главное — это преобразование слабого входного сигнала в более мощный выходной. Все усилительные устройства, как правило, могут управлять энергией во много раз большей, нежели та, которая подводится для управления. Одни усилители, особенно электронные, обладают большой чувствительностью, другие — магнитные — большой надежностью.

Бывают и комбинации усилителей. Например, ламповый электронный работает совместно с электромашинным. Первый, получая слабый сигнал датчика, усиливает его и через свой выход направляет на вход электромашинного усилителя. Пройдя по такой дороге, сигнал-карлик становится исполином: он может включить любой механизм, даже вращать двигатель.

Как нетрудно догадаться, усилители — это второй по значению из всех «кубиков», составляющих автоматику.



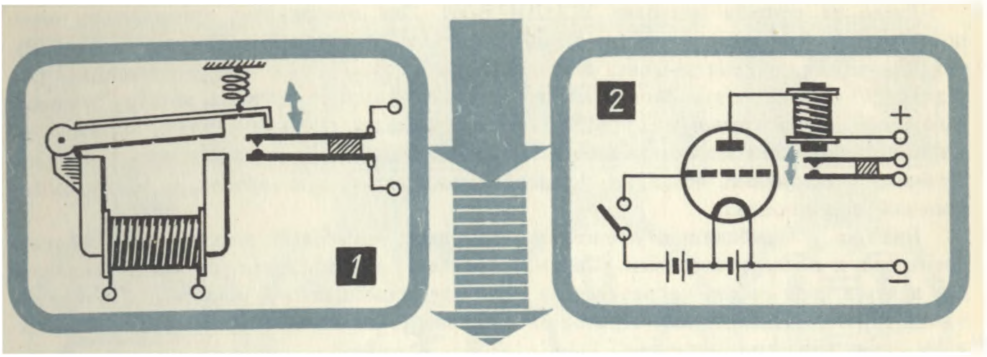
Усилители: 1 — электронный; 2 — магнитный; 3 — электромашинный.

Чтобы понять главные из тех принципов, на которых основывается автоматика, необходимо еще знать, что цепь, идущая от датчика и усилителя, называется управляющей. Она командует, управляет другой цепью — управляемой.

В управляющую цепь от датчика идет слабый сигнал. Он в усилителе преобразуется и уже в управляемую цепь поступает усиленным.

Часто бывает необходимо плавно поступающий сигнал изменить резко, скачкообразно. Для этого придумали специальное устройство — реле. Оно и вызывает скачкообразное изменение состояния в управляемой цепи, в управляемом устройстве.

РЕЛЕ, как и усилители, бывают разных типов: механические, электронные, электромеханические, фотоэлектрические и др. Опуская двухкопеечную монету в прорезь



Реле: 1 — электромагнитное; 2 — электронное.

телефона-автомата, вы и не подозреваете, что включаете телефонную линию с помощью механического реле гравитационного типа, то есть реле, в которых используется сила тяжести.

Для реле важна так называемая скорость срабатывания — время, за которое оно способно совершить изменение в управляемой цепи. Механические реле самые медленные. Их скорость невелика — доли секунды. Электромеханические попроворнее — до 1/300 *сек*. Ну, а электронные работают со сказочной быстротой — 1/1 000 000 *сек*.

Реле срабатывает от слабого тока, но может включать цепи, по которым проходит ток во много раз большей силы. Это роднит реле с усилителями. Вот почему можно усилительные схемы заставить работать в релейном режиме. Другими словами — обеспечивать не плавное, а скачкообразное изменение разных величин.

Если датчики применительно к живому организму мы называли органами чувств, то усилители и реле можно по праву назвать нервными узлами.

Нам осталось показать еще два важных «кубика» автоматики — исполнительные устройства и двигатели. Это «мышцы» автоматики. О них вы узнаете, познакомившись с «профессиями» в автоматике.

Здесь профессиональное деление простое — всего четыре группы: КОНТРОЛЬ, ЗАЩИТА, РЕГУЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ.

Область контроля дала большой толчок развитию контролирующих устройств автоматики. Ведь нужно следить за размерами и качеством деталей, следить за температурой, давлением, напряжением тока, цветом материала, концентрацией растворов, учитывать выпускаемую продукцию, сортировать и отбраковывать продукцию и совершáть еще тысячи других контрольных операций.

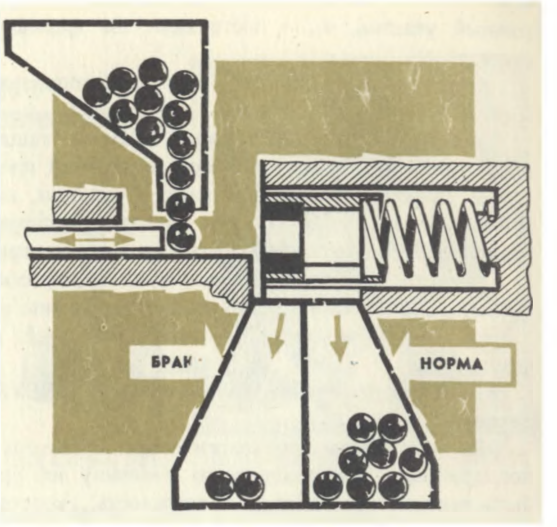
Такое многообразие объектов привело и к многообразию средств. Существуют механические устройства, электрические, электрооптические и много других. Теперь наибольшее распространение получили электрические контролеры и электронные — быстрые, компактные, гибкие.

На подшипниковом заводе делают миллионы стальных шариков. Вручную их сортировать пришлось бы годы. Бункер с двумя отверстиями в желобе и нехитрой

защелкой за час пропускает несколько тысяч шариков. Годные падают в отверстие «норма», остальные скатываются по желобу «брак».

Гибко и точно работает электронный контролер, измеряющий толщину детали. Кроме этого, он подает сигнал, считает годные изделия и бракованные и сбрасывает их с конвейера.

Методов контроля, а значит, и типов исполнительных органов множество. Выбирая тот или иной, учитывают скорость машины, точность контроля, сложность схемы, стоимость и различные другие факторы.

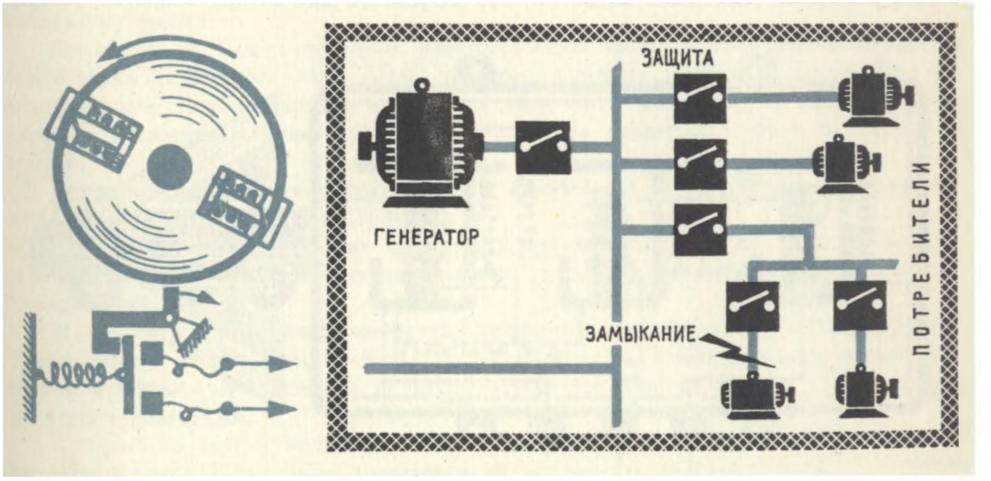


Простейший автомат-контролер.

А что такое АВТОМАТИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА?

Это легко представить себе, если вспомнить о самом простом автомате защиты — электрических пробках. В квартире короткое замыкание. Тоненькая медная проволочка в пробках перегорает, и ток автоматически выключается — возможность пожара исключена.

Подобные устройства, только более мощные, существуют на линиях высоковольтных электропередач. Оборвался провод — серьезная авария: короткое замыкание. Но автоматика защиты начеку. Мощные автоматические выключатели отключат ава-



Автоматическая защита — электромеханическая (слева) и электрическая.

рийный участок, и не пострадают ни трансформаторы, ни генераторы, ни соседние станции.

Остроумное устройство защиты предохраняет от чрезмерной скорости вращения и валы генераторов, компрессоров, насосов.

Теперь специальный автомат надежно защищает от возможной травмы рабочего, обслуживающего в цехе тяжелый кузнечный пресс.

В защите нуждаются станки и турбины, котлы и двигатели, агрегаты самолетов и генераторы, линии дальних электропередач и химические установки. А как важна защита электродвигателей, этих геркулесов современной техники!

Если бы на миг исчезла вторая «профессия» автоматики — защита, — в буквальном смысле слова остановилась бы жизнь: заводы, электростанции, все виды транспорта, лифты в домах, автомобили — всё, где есть двигатели и автоматические устройства.

Третья «профессия» автоматики — РЕГУЛИРОВАНИЕ. Оно очень важно для техники.

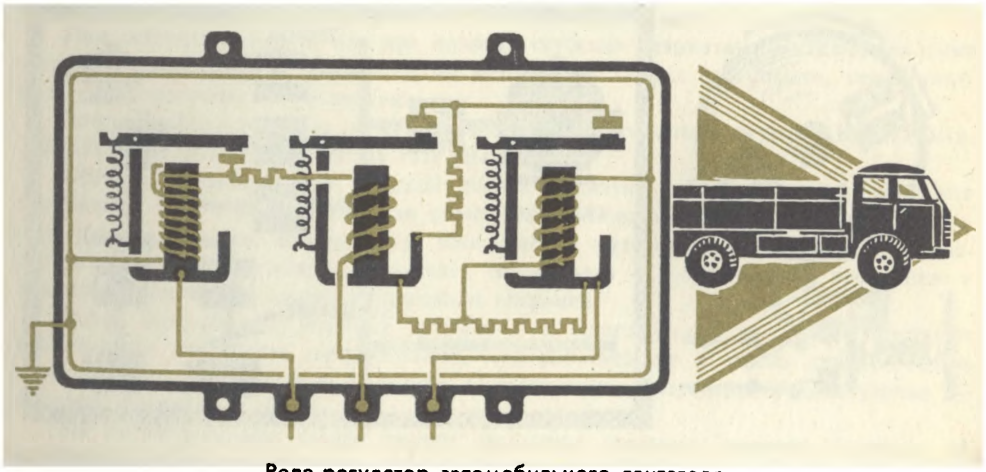
В большинстве технологических процессов и у множества машин главное — поддерживать контролируемую величину на уровне заданного значения. Это может быть температура, давление, влажность, скорость, химический состав, напряжение тока и другие величины.

Классический пример — центробежный регулятор, поддерживающий постоянное число оборотов.

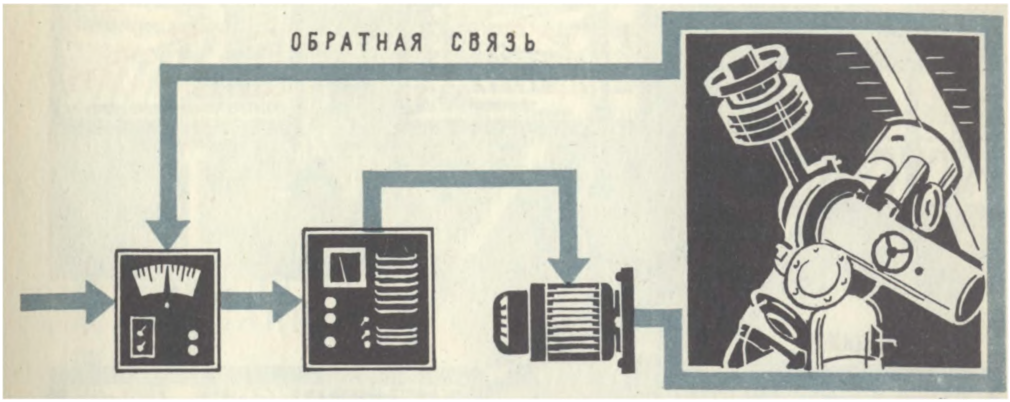
Более сложный электрический автомат-регулятор вы можете увидеть, подняв капот автомашины.

Здесь около двигателя, обычно слева, помещена небольшая черная коробочка с надписью «реле-регулятор».

Этот автомат непрерывно следит за величиной напряжения постоянного тока, вырабатываемого генератором. Генератор вращается двигателем, число оборотов которого во время езды резко меняется. Без регулятора при малых оборотах генера-



Реле-регулятор автомобильного двигателя.



Следящая система автоматически поворачивает трубу телескопа за движущимся объектом наблюдения.

тор не заряжал бы аккумуляторы, а при больших портилось бы электрооборудование автомобиля.

В автоматике различных промышленных установок чаще всего теперь применяют электронные регуляторы. В них любая величина (перемещение, давление, температура) преобразуется в соответствующую величину электрического тока. Ток усиливается, в измерительном блоке сравнивается с напряжением тока в задающем устройстве, и результат сравнения — корректировка — поступает в усилитель, а оттуда к исполнительному органу.

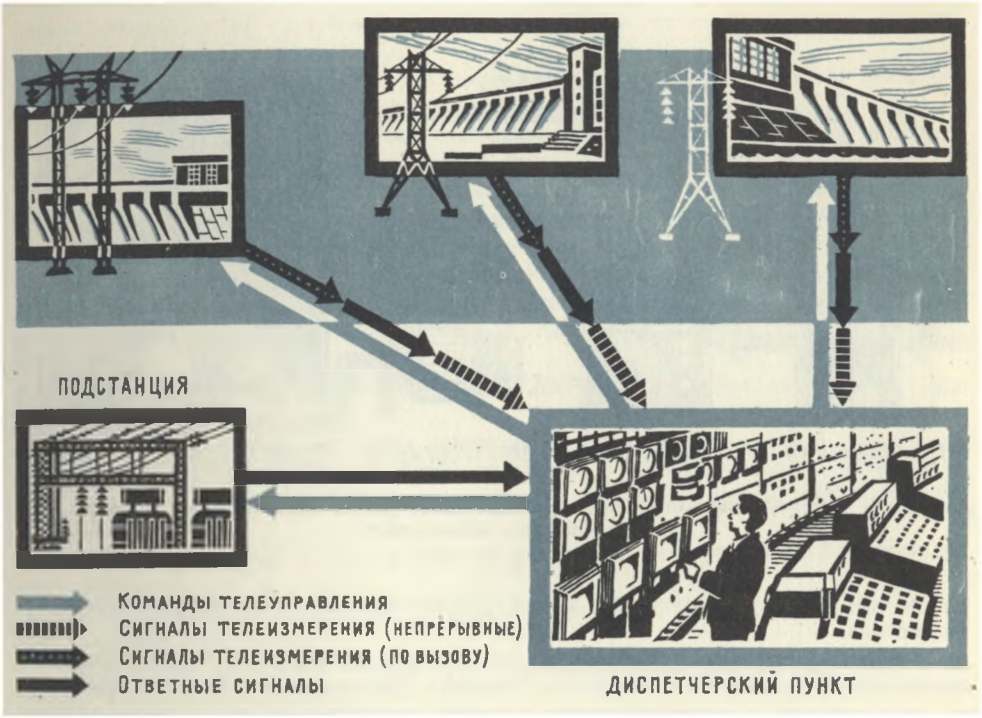
На одной из наших тепловых электростанций такое регулирующее устройство температуры перегретого пара котла высокого давления позволило значительно сократить время регулирования и в два раза уменьшить отклонение от заданной величины — постоянство температуры перегретого пара поддерживается с высокой точностью.

Существует интересная разновидность в «профессии» автоматического регулирования. Это СЛЕДЯЩИЕ СИСТЕМЫ.

Следящие системы работают в автоматических копировальных станках, в автоматах-телескопах, наблюдающих за звездами, в электронно-вычислительных моделирующих установках.

И, наконец, последняя, четвертая, профессия автоматики — УПРАВЛЕНИЕ. Чтобы понять ее важность, приведем такой пример. На Магнитогорском металлургическом комбинате есть мощный прокатный стан. Это машина-исполин с несколькими десятками двигателей.

Главный из них — мощностью в несколько десятков тысяч киловатт — мог бы осветить город с 50-тысячным населением. И вот все эти двигатели большой и малой мощности должны работать согласованно — вовремя включаться, чтобы давать хоро-



Диспетчерское управление энергосистемой.

шую продукцию: рельсы, балки, полосы металла. Подсчитано, что во время работы стана надо произвести около пяти тысяч переключений. Их-то и производит специальная система автоматического управления.

●

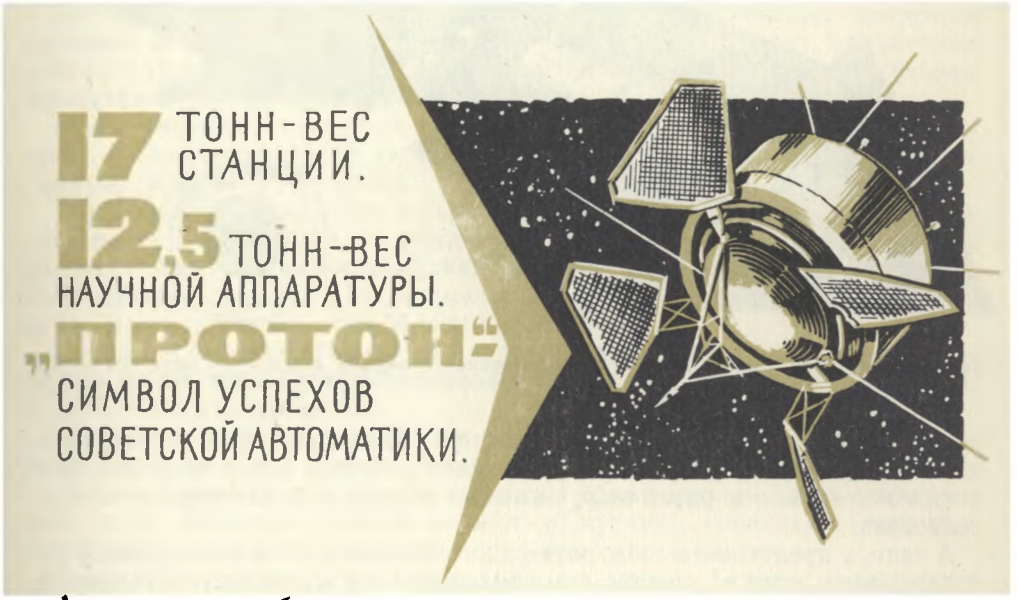
Но венец автоматической техники — безусловно автоматика в космосе. Здесь наука и техника показали выдающиеся результаты.

Сегодня можно пойти на ВДНХ в павильон «Космос» и во всех подробностях разглядеть чудо автоматики — космический корабль. В нем множество «умных» автоматов обеспечивают все условия для жизни и работы человека в невероятно трудных космических условиях.

Когда вы будете рассматривать космический корабль, вам и в голову не придет, что перед вами высокая степень согласованности в работе датчиков, усилителей, реле, двигателей и исполнительных устройств, которая становится уже, как говорит ученый и космонавт, доктор технических наук К. Феоктистов, неким приближенным подобием высокоорганизованного существа, предназначенного жить и действовать в космосе.

Вспомните теперь все, что мы говорили об «органах чувств», «нервных узлах», «мышцах» и «профессиях» в автоматике, и вы получите представление о том, как работает автоматика космического корабля.

Смотрите, какой огромный объем работы выполняет корабль, получая и обрабатывая информацию об окружающем пространстве, о своем положении, о состоянии и действиях экипажа и посылая команды управления.



Автоматика корабля

учитывает перегрузки и вибрации;

следит за наличием запасов прочности конструкции, за дублированием аппаратуры, за запасами энергии;

проверяет работоспособность систем и агрегатов;

замеряет температуру, световую энергию Солнца, радиацию, поток метеоритов;

наблюдает за герметичностью отсеков и тепловой защитой;

управляет корректирующими установками и ракетными ступенями;

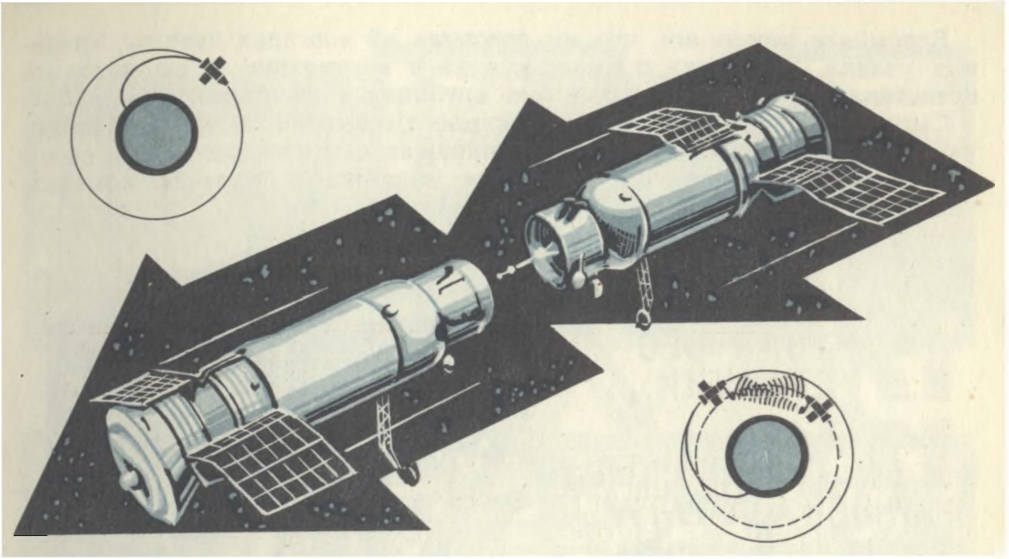
ведет питание, водоснабжение и кислородное обеспечение;

поддерживает тепловой режим и газовый состав в кабине;

корректирует полет при подъеме с Земли, на орбите и при спуске корабля;

регулирует энергопитание бортовой аппаратуры;

и, конечно, наиболее сложная и ответственная часть — это координация и управление всем комплексом автомати-



Техническое чудо нашего века — автоматическая стыковка в космосе двух спутников.

ческих систем, которые беспрерывно что-то указывают, фиксируют, сравнивают, замечают, увязывают, направляют, чтобы полет корабля проходил нормально в различных режимах полета и в различных обстоятельствах.

А теперь представьте себе, насколько усложняется автоматическое регулирование, если его необходимо проводить на расстоянии. Например, при полетах ракет, искусственных спутников Земли или космических кораблей. Подобное управление осуществляют с помощью родной сестры автоматики — ТЕЛЕМЕХАНИКИ. Принцип телемеханического управления хорошо виден на таком устройстве, которым часто пользуется каждый. Поворотом диска при наборе номера телефона вы включаете автоматическую систему и вызываете для разговора абонента на другом конце телефонной линии.

Чтобы ясно представить себе, каких высот достигли сегодня автоматика и телемеханика, познакомимся с техническим чудом нашего века — автоматической стыковкой в космосе двух спутников. Это выдающаяся победа советской автоматики.

Два космических аппарата, словно ими управляли люди, осторожно сблизились и накрепко соединились. Автоматы выполняли целый комплекс сложных действий, и при этом они двигались по своим орбитам со скоростью около 8 *км/сек*. Как все это происходило, было видно на экранах телевизоров, но, к сожалению, не было видно работы тончайшей космической кибернетики — «умной» автоматики...

Аппараты, один из которых «активный», а другой «пассивный», снабжены «органами чувств», поэтому могут «увидеть», «услышать» и «узнать» друг друга. Антенны позволяют им произнести в космосе: «Где ты — я здесь». После этого «активный» обнаруживает своего собрата, подходит к нему, сближается. «Пассивный» только смотрит на него, посылая его антеннам ответные сигналы. С этого момента они как бы связаны незримой нитью.

Автоматическая система наведения измеряет параметры движения партнера и передает соответствующие сигналы на систему ориентации автоматического управления движением аппарата. Теперь два спутника движутся в едином ритме — согласованно.

Затем автоматы измеряют расстояния между космическими аппаратами, скорость изменения этого расстояния, углы между линиями визирования и осями спутников.

Специальная аппаратура ориентации и автоматического управления движением то включает, то выключает двигатели, либо тормозит, либо разгоняет спутник, в промежутках аппарат поворачивается, направляясь в нужную сторону. Так автоматы выполняют необходимые поправки орбит и осуществляют сам процесс сближения.

Когда спутники оказываются на расстоянии 300 *м*, включаются двигатели малой тяги. Они обеспечивают тонкое регулирование сближения, а затем и причаливание.

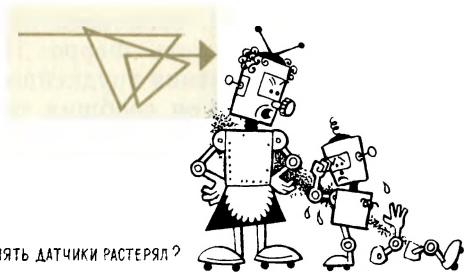
Теперь наступает финал. В нем главную роль играет автоматика непосредственного управления стыковкой.

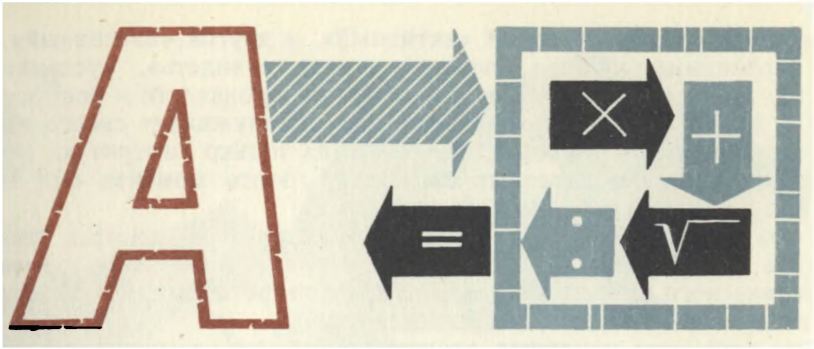
Спутники соприкоснулись. Замыкаются электрические цепи стыковочного узла. Датчики послали сигнал: «Спутники соединены накрепко прочным замком и продолжают полет как единое целое».

Телемеханическая система передала на земные экраны телевизоров изображение соединенных космических тел.

Через 3 часа 50 минут с Земли следует команда, и спутники разъединяются, чтобы опуститься затем на Землю. Сложнейшая операция автоматики в космосе окончена.

Остается только добавить, что установленные на космических аппаратах автоматы собрали еще и ценнейшую научную и техническую информацию, бóльшую часть которой передала на Землю телемеханическая система.





АЛГОРИТМ

Предписание, определяющее содержание и последовательность операций, переводящих исходные данные в искомый результат.

ПРАВИЛА ДЛЯ ВСЕХ

12 февраля 1535 года в итальянском городе Болонья царило необычайное оживление. Со всех концов Италии, даже из других стран средневековой Европы сюда съехались математики, искусные вычислители и любители интересных состязаний. В этот день начинался математический турнир.

«Математик Фиоре вызывает на поединок каждого, кто желает состязаться с ним в искусстве решения кубических уравнений. Побеждает тот, кто решит больше задач из числа предложенных его противником», — гласило объявление о правилах.

Вызов Фиоре был принят Николо Тартальей, малоизвестным преподавателем математики.

Он оказался победителем турнира, решив все 30 задач, предложенных Фиоре. Последний же не сумел решить ни одной задачи Тартальи!

Каким же образом Николо Тарталье удалось одержать столь блестящую победу, не оставляющую никаких сомнений в его превосходстве над противником?

Ответ на вопрос дают события, предшествовавшие турниру.

Примерно за десять лет до этого скончался профессор математики Болонского университета Сципион дель Ферро. Незадолго до смерти ему удалось найти общий метод решения труднейшей задачи. Об успешном результате многолетнего труда он сообщил только своему зятю и преемнику по должности Анабеллу делла Нове. Но об этом методе неведомыми путями узнал и неведомый Фиоре. Получив в свои руки правило решения задачи, с которой не могли справиться ни арабы, ни греки, ни ученые средневековой Европы, Фиоре бросил вызов математикам.

Обладание формулой, казалось, гарантировало Фиоре победу, но его уверенность не оправдалась. Против него выступил гениально одаренный Тарталья. Приняв вызов, он решил, что легко победит Фиоре. Но всего за десять дней до турнира узнал, что Фиоре знает метод умершего Сципиона дель Ферро. Тогда Тарталья огромным напряжением ума самостоятельно нашел еще более совершенный метод. С его помощью он одержал блестящую победу на турнире.

Алгоритм Тартальи, усовершенствованный потом итальянским математиком Кардано, сохранился до наших дней в виде общего метода решения кубических уравнений.

●

ЧТО ЖЕ ТАКОЕ АЛГОРИТМ? ЧТО ЭТО ЗА УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ, ПОМОГАЮЩИЙ РЕШАТЬ ЗАДАЧИ?

Наверное, многие из вас восхищались учеными собаками, которые в цирке показывают искусство счета: они «складывают» однозначные числа. Собака лает (повинуясь незаметным для публики сигналам дрессировщика), когда ей показывают цифры: три раза — когда перед ней цифра 3, пять раз — когда видит цифру 5. А если между этими цифрами стоит знак +, собака пролает восемь раз.

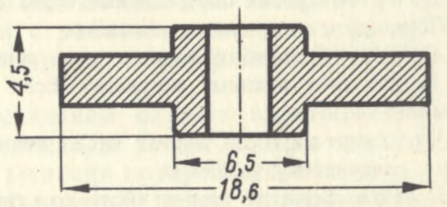
Сложение по единицам в данном случае выполняется чисто автоматически, без понимания смысла действий.

Такое сложение — самое простое. Правило его выполнения легче всего запомнить.

«Отложим на счетах столько косточек, сколько единиц в первой цифре, и прибавим к ним число косточек, равное числу единиц второй цифры. После этого сосчитаем

ОПЕРАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА
НА ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕТАЛИ № 138

N п/п	Наименование операции	Станок	Инструмент	Приспособления	Мерительный инструмент	Длина отреза
1 2 3	Подрезать торец	Револьверный	Резец подрезной № 71159	Цанга Супорт Ф-18	Скоба	19



Технологическая карта сопровождает изготовление детали.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
a	$в$	K	a^2	$27{,}5\,a^2$	$174{,}2\,в$	$(5+6)$	$\sqrt{K}$	$M=(\frac{7}{8})$
1,37	0,81	15,6	1,87	51,614	141,102	192,716	3,950	48,789
1,39	0,94	12,7	1,93	53,132	163,748	216,880	3,564	60,853

$$M = \frac{27{,}5\,a^2 + 174{,}2\,в}{\sqrt{K}}$$

Технологический бланк сопровождает процесс вычислений.

сумму». Пользуясь этим правилом, первоклассник складывает однозначные числа на школьных счетах. Но в математике вместо слова «правило» говорят «алгоритм». Если решаемую задачу можно сравнить с замком, то алгоритм ее решения — это ключ, открывающий замок.

Алгоритмы нужны для решения самых разнообразных задач. Оказывается, математика не может обойтись без своей технологии — способов решения математической задачи.

Технологический процесс решения самой сложной задачи складывается из множества простых операций, из простых элементарных шагов.

Слово «алгоритм», то есть «правило», приобрело теперь чрезвычайно широкий смысл. Это точное указание о порядке решения целого класса сложных задач посредством ряда простых операций. Иными словами, алгоритм — это руководство к действию для решения задач. Его можно даже облечь в форму кратких приказов, которые надо выполнять точно и беспрекословно. Тогда алгоритм послужит вам добросовестным «поводырем» — покажет путь, идя которым можно решить задачу.

Вот пример такого руководства к действию — алгоритм Евклида. Он служит для отыскания общего наибольшего делителя двух чисел a и b. Это руководство состоит из пяти указаний.

Первое. Обозревай оба числа: a и b. Переходи к следующему указанию руководства.

Второе. Сравни обозреваемые числа (a равно b, или a меньше b, или a больше b). Переходи к следующему указанию.

Третье. Если обозреваемые числа равны, то прекрати вычисления, так как каждое из них даст искомый результат. Если числа не равны, переходи к следующему указанию.

Четвертое. Если первое число меньше второго, переставь их местами. Переходи к следующему указанию.

Пятое. Вычитай второе число из первого. Обозревай два числа: вычитаемое и остаток. Переходи к указанию второму.

Итак, после выполнения всех указаний нужно снова вернуться ко второму, затем

к третьему, четвертому и т. д., пока обозреваемые числа не станут равны. Тогда вычисление заканчивается. Вместо букв a и b вы можете подставить числа, например 21 и 14. Попробуйте найти для них общий наибольший делитель.

●

Наши поиски алгоритма напоминают шутку, которую, скорее всего, сочинили математики.

Одного математика спросили, сумеет ли он сварить суп. Он ответил так:

— Сначала я должен сформулировать задачу. Дано: кастрюля, газовая плита, литр воды и концентрат. Задача: сварить суп. Ее можно решить с помощью некоторого построения z. Воду наливают в кастрюлю, кастрюлю ставят на плиту, зажигают газ. Когда вода закипит, добавляют концентрат и через десять минут выключают газ.

— Ну, а если кастрюля уже стоит на плите?

— Тогда задача усложнилась, но ситуация не безнадежна. В данном случае надо выполнить построение z_1: погасить газ, снять с плиты кастрюлю, перелить воду в другую посуду. Новая задача, таким образом, привела к старой, которую я умею решать. Значит, разрешима и новая. Я сумею сварить суп, если кастрюля уже стоит на плите.

«Стоит ли разводить подобную канитель, — возразите вы, — чтобы найти общий наибольший делитель для таких немудрящих чисел?» Может быть, здесь вы и правы. Но существуют случаи посложнее, чем наш. Для них-то и важно знать алгоритм и уметь его применить.

Всякий алгоритм как руководство к действию должен удовлетворять определенным требованиям. Необходимо, чтобы алгоритм был пригоден для решения не одной какой-нибудь задачи, а для всех задач данного типа. Алгоритм не мог бы служить руководством к действию, если бы годился только для одной пары чисел, например для 21 и 14.

Чтобы найти и разработать алгоритм, нужно иметь обширные знания, затратить много творческого труда. И вот алгоритм найден, порядок решения задачи строго определен. Каждая отдельная вычислительная операция регламентирована, и для решения остается только точно и беспрекословно следовать указаниям. Это может выполнить уже любой человек, действуя совершенно машинально.

Человек работает машинально! Когда мы так говорим, то поневоле сравниваем действия человека с работой машины, и тут же у нас возникает мысль: «А нельзя ли поручить выполнение этой работы машине?»

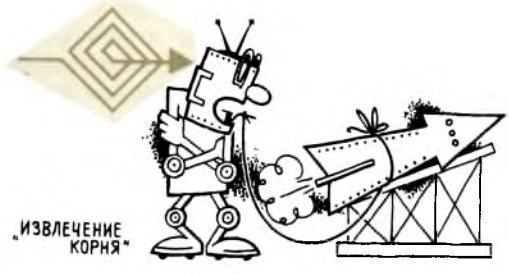
Оказывается, можно! Подтверждением служат электронные вычислительные машины. Ученые и инженеры умеют теперь автоматизировать решение любой задачи, для решения которой существует алгоритм.

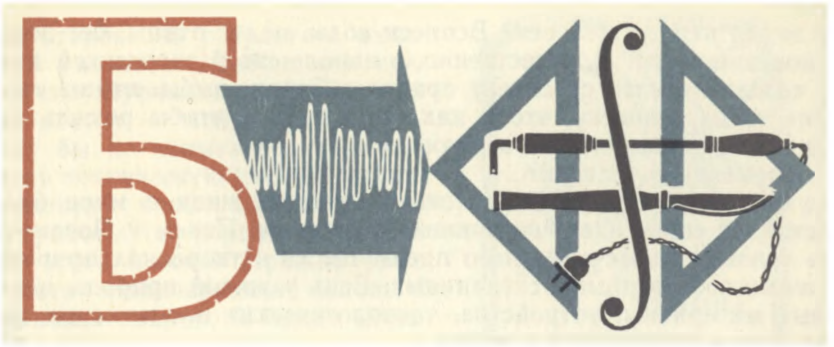
Через всю историю математики красной нитью проходит борьба за алгоритм. Ведь каждый новый алгоритм — это новый путь к решению. И чем проще и короче алгоритм, тем ближе победа над таинственными

задачами математики, спрятанными за сложными формулами и уравнениями.

Особое внимание уделяют теперь созданию алгоритмов, специально приспособленных для машинного решения задач. Алгоритмы играют важную роль в вычислительной математике. Можно даже сказать, что все результаты ее состоят в установлении алгоритмов.

Специалисты говорят, что в настоящее время, когда машинная математика быстро развивается и электронные вычислительные машины стали реальностью, все чаще появляется необходимость в нахождении алгоритма, позволяющего решать ту или иную серию задач. Если найден алгоритм, можно составить программу, по которой машина будет решать любую задачу из этой серии. Так как машина считает быстро, а будет считать еще быстрее, то нахождение алгоритма для решения определенного круга задач имеет очень большую ценность. Выгоднее находить общий метод решения для большого числа однородных задач и поручать сам процесс решения машине, чем для каждой задачи искать свой способ и затем решать ее с помощью машины или без нее.





БИОНИКА

Наука, занимающаяся использованием биологических процессов и методов для решения инженерных задач. Бионику можно определить также как учение о методах создания технических систем, характеристики которых приближаются к характеристикам живых организмов.

«КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО ЖИВОЙ ПРИРОДЫ»

Знаете ли вы, что:

...Гремучая змея улавливает разницу в температуре, равную тысячной доле градуса?

...Некоторые рыбы ощущают стомиллиардную долю пахучего вещества в одном литре воды? Это все равно, что уловить присутствие 30 *г* такого вещества в целом Аральском море.

...Крысы ощущают радиацию?

...Отдельные виды микробов реагируют даже на слабое изменение радиации?

...Обыкновенный черный таракан радиацию видит?

...Комар развивает при укусе удельное давление до 1 миллиарда *кг/см²*? Сравнение с 16-килограммовой гирей, имеющей основание 4 *см²* и дающей удельное давление всего 4 *кг/см²*, показывает, как велика «комариная сила».

...Глубоководные рыбы улавливают изменение плотности тока менее чем на одну стомиллиардную часть ампера?

...Нильская рыба мормирус с помощью электромагнитных колебаний «прощупывает» свой путь в воде?

Не правда ли, удивительный перечень? И его можно еще и еще продолжить не менее удивительными примерами. Узнав все это, мог ли человек пройти мимо заманчивой идеи — создать своими руками то, что уже создала природа?

Здесь придется сделать некоторое историческое отступление.

Род человеческий существует около ста тысяч лет.

Что видел первый человек? Всплеск воды, полет птицы, бег животного, дуновение ветра. И, естественно, в начале своей творческой деятельности человек учился строить у природы. Звери, рыбы, птицы «подсказывали» тогда человеку, что и как надо делать, чтобы решить насущные для него «инженерные задачи».

А современный человек?

Окружив себя множеством сложных машин, живя в мире больших скоростей, он снова идет «на поклон» к природе. Почему? Потому что и теперь человек подмечает много преимуществ в творениях природы перед своими собственными созданиями. Ведь у живой природы наиболее сложные материалы, устройства, технологические процессы по сравнению со всеми известными в науке.

Именно с целеустремленного «подглядывания» за природой родилась новая наука — бионика.

Название этой науки происходит от древнегреческого слова «бион» — «ячейка жизни». Занимается она изучением биологических систем и процессов с целью применить полученные знания для решения инженерных задач.

Результатами бионических исследований и были те удивительные данные, которые приведены в начале главы. Такое внимательное, придирчивое, тонкое наблюдение очень нужно и науке, и технике, нужно для умения строить неживое как живое.

Обращали ли вы внимание на то, что чем сложнее сооружение, тем резче понижается его устойчивость? Наверное, обращали. За примерами далеко ходить не следует. Каждый понимает, что построить одноэтажный дом проще, чем, допустим, «Атомиум», стоявший в Брюсселе на Всемирной выставке. Не вызывает сомнения и то, что один кирпич в здании устойчивее, крепче, чем все гигантское здание, собранное из множества кирпичей.

А в живой природе? Сам организм в целом выше каждого своего «кирпичика» в отдельности. Вот почему живое способно к выживанию. Чем это объяснить? Ученые пока до конца не знают. Но с разных сторон все чаще и все чувствительнее атакует бионика этот издавна неприступный бастион — единицу живого.

При этом стремятся не к слепому подражанию, к заимствованию всех характеристик биологических объектов, а к критическому, строгому отбору только полезных для техники свойств. Бионика, отталкиваясь от биологического «прототипа», разрабатывает такие модели, которые имеют конкретное практическое применение. Моделировать интересно и нужно, говорят специалисты, лишь те функции, которые повышают гибкость, надежность, экономичность системы или процесса.

Самой сложной биологической системой, выполняющей разнообразные и, казалось бы, непохожие функции по управлению и переработке сигналов, издавна признана нервная система. На протяжении развития биологической науки нервную систему изучали и изучают буквально

«со всех сторон». В результате выяснили, что многие ее особенности связаны со структурными особенностями нервных клеток — нейронов.

Почему бы не попытаться и бионике создать техническую систему управления, которая приближалась бы по режиму работы к нервной системе? Что для этого нужно? Прежде всего попробовать моделировать основной ее «кирпичик» нейрон. И такие модели многое помогли выяснить.

●

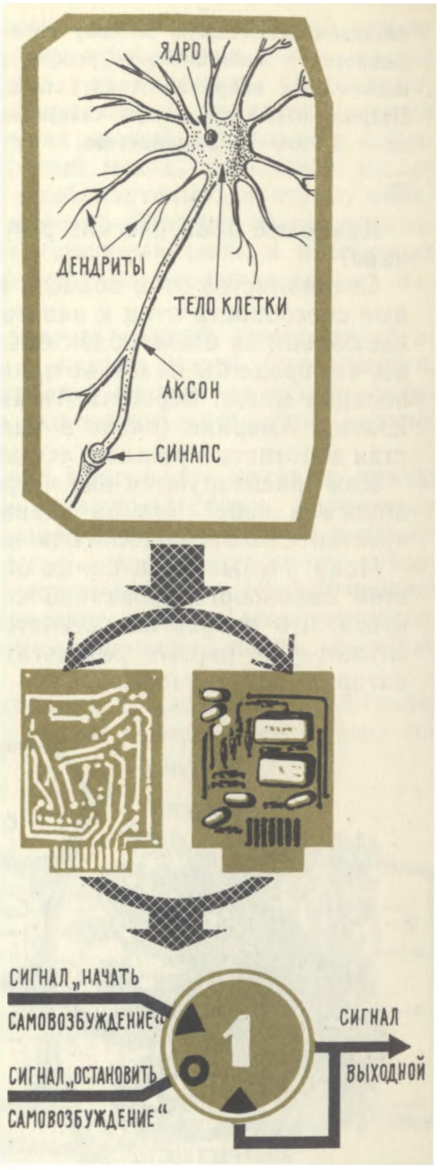
ЭТО СХЕМАТИЧЕСКОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ НЕЙРОНА И ЕГО РАДИОЭЛЕКТРОННАЯ МОДЕЛЬ.

Нейрон живого организма обычно находится в двух состояниях: либо в спокойном (торможение), либо в возбужденном (возбуждение). Специалисты говорят, что в упрощенном представлении эти функции нейрона можно сравнить с радиоэлектронным двухпозиционным элементом, работающим по схеме «включено — выключено». Им может быть и лампа, и реле, и транзистор.

Из нейронов «строятся» нервы, являющиеся для организма не чем иным, как проводами — линиями связи между организмом в целом, отдельными органами и участками организма. Другими словами, провода-нервы связывают организм с внешней средой.

Пойдем дальше. И живой нейрон, и его электронная модель представляют собой пороговые элементы: они «включаются» и «срабатывают» тогда, когда получают из внешней среды сигнал, превосходящий их порог — уровень. При этом происходит и временное, и пространственное суммирование-накопление сигналов. В нейроне число сигналов, которые он принимает, может быть очень разным. Оно изменяется от нескольких единичных сигналов до нескольких тысяч.

Модель нейрона рассказала исследователям о многом. И прежде всего о том, что,



Нервная клетка — нейрон — совсем не похожа на искусственную — маленькие электронные устройства, имитирующие некоторые ее простейшие функции.

Б

создавая техническую систему управления, инженер должен учитывать гибкость, надежность и экономичность работы нейрона. Но для технической системы будет нежелательно, например, такое свойство нейрона — длительный отдых при работе. Нейрону отдых нужен для «накопления сил». Техническая система в нем не нуждается — в этом ее преимущество.

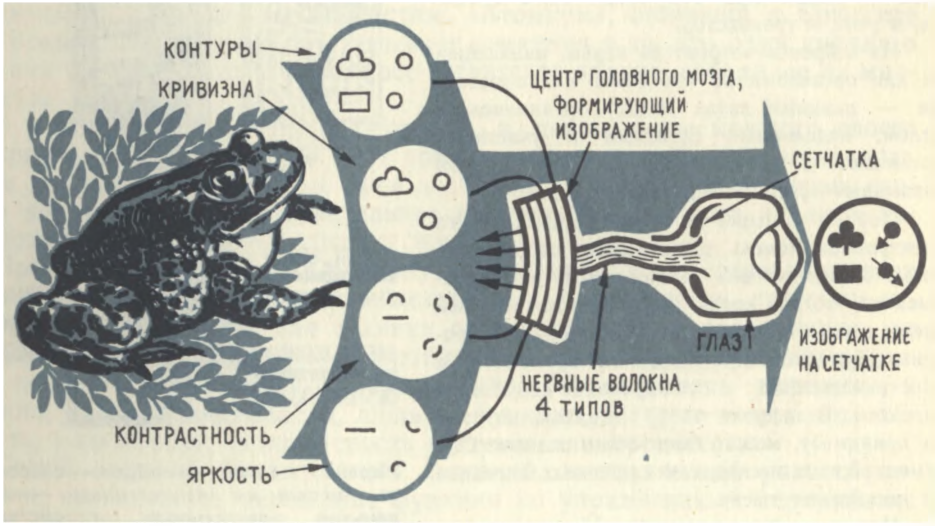
●

Какие же практические результаты дала бионика? Чем помогла технике?

Специалистов этой области науки поражают, например, необыкновенные способности птиц к навигации. Всем известно, что почтовые голуби, где бы они ни были, обязательно вернутся в свой «родной дом». Доказано, что вроде бы ничем не примечательная птаха золотистая ржанка без посадки может пересечь Атлантический океан от Новой Шотландии до Южной Америки (около 4 тысяч километров). И из года в год летают стаи золотистых ржанок, летают по одним и тем же воздушным трассам.

Как ориентируются они в пространстве? Как находят свои невидимые дороги в небе? Что за «навигационные приборы», точные и высокочувствительные, «работают» внутри у этих рекордсменов навигации?

Пока ученые не в силах объяснить устройство и принцип действия этой высокоорганизованной системы ориентации. Но мы вправе надеяться, что вопрос не останется без ответа. Залогом этой уверенности служат уже первые результаты интересных экспериментов с птицами, которые ведут ученые.



Глаз лягушки, воспринимая изображение, «выделяет» качественные признаки объектов: контуры, их кривизну, яркость.

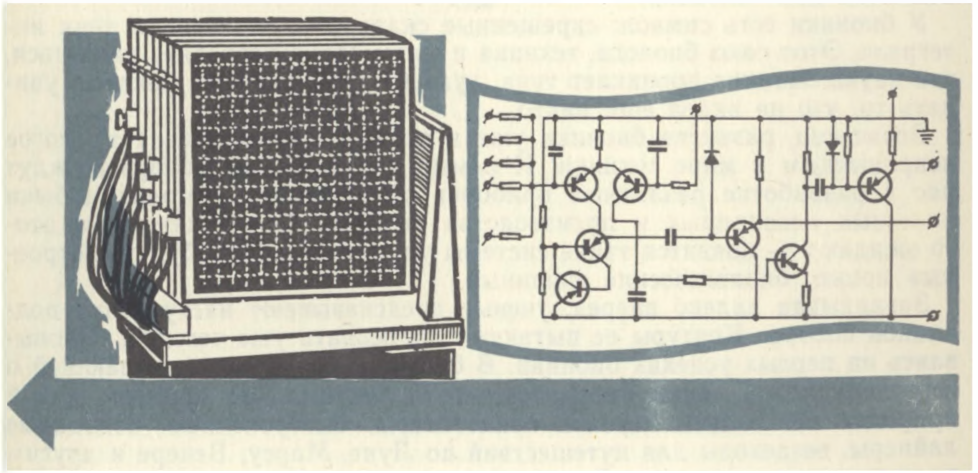
А вот удивительная способность летучих мышей безошибочно ориентироваться в самых темных уголках пещер, проноситься сквозь кроны деревьев безлунной ночью уже не секрет для бионików. Они знают, что беспорядочное, на первый взгляд, «ныряние», «кручение» и другие неожиданные «выверты» и «трюки» летучих мышей в погоне за добычей — не что иное, как чрезвычайно точный метод, названный эхолокацией. Это она помогает животным не приблизительно, а строго определенно узнавать расстояния до своей жертвы. Летучие мыши во время охоты необычайно «болтливы»: они «выстреливают» в насекомых «заряды» ультразвуков и тут же принимают их отраженными от насекомых.

Эхолокация животных, в частности летучих мышей, помогла разгадать и природу «локационной системы» у слепых людей. Оказывается, ориентация по звуку своего голоса, позволяет слепым не только находить дорогу без палки, но и различать «по звуку» материалы: дерево, металл, ткани.

Не удивляйтесь, что бионики в течение многих лет изучали, какую скорость развивают некоторые степные животные, птицы, насекомые, рыбы. Ведь известно — человек давно «перекрыл» скоростные рекорды и голубой акулы, делающей до 70 *км/час*, и самых быстроногих кузнечиков, которые могут скакать со скоростью в пределах от 10 до 60 *км/час*!

Но инженеров-транспортников интересуют задачи маневренности, гибкости управления, которые «мимолетно» решают и птицы, и рыбы, и насекомые.

Японские инженеры и биологи установили в результате многочисленных экспериментов, что форма кита лучше, совершеннее формы со-



Электронная модель глаза лягушки — одна из первых бионических систем.

временных судов. Было построено большое океанское «китоподобное» судно, и преимущества новой конструкции сказались тут же. При мощности двигателя, уменьшенной на четверть, скорость и грузоподъемность остались теми же.

Бионический принцип положен и в основу советской снегоходной машины «Пингвин». Она полностью оправдывает свое название. Как движутся по рыхлому снегу пингвины? На брюхе, отталкиваясь от снега ластами, как лыжными палками. Так же, лежа на снегу днищем и отталкиваясь от снега колесными спицами, будет скользить по поверхности и «Пингвин» механический. Конструкторы рассчитали, что машина при весе в 1300 *кг* будет двигаться со скоростью 50 *км/час*.

Помогает бионика и химикам. Химики-органики, изучающие и создающие полимерные материалы, большое внимание уделяют «технологии» природы, когда она создает чрезвычайно сложные химические соединения. И на основе опять-таки примера природы сейчас работают «живые фабрики». Здесь получают антибиотики, витамины, белки, жиры, аминокислоты.

А сколько ведется поисков в бионике! Ученые усиленно ищут биологические средства защиты от опасных излучений. Надеются построить живые фильтры для очистки воды и почвы от радиоактивности.

Пришли к мысли и о биологизации производства: незачем пропадать «даровым» машинам и приборам природы. Давно известно, что химический состав растений может указать на присутствие полезных ископаемых. Мед пчел — «сладкая карта», говорящая геологам о залежах руд в районе сбора нектара. В морях и океанах животные, водоросли, бактерии, микробы накапливают в своих организмах химические элементы. Нельзя ли это «морское население» заставить добывать ценные вещества для человека?

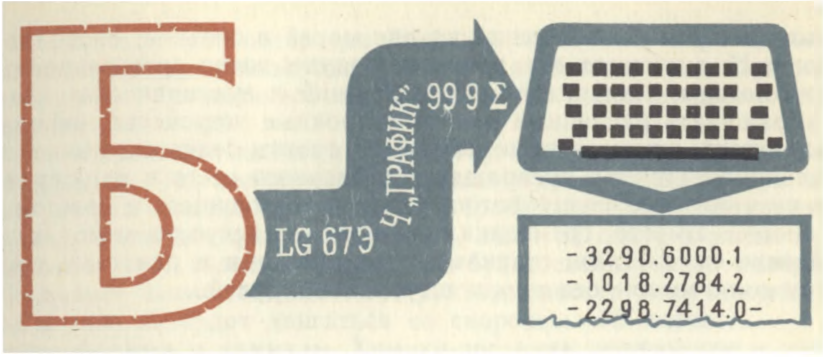
У бионики есть символ: скрещенные скальпель, паяльник и знак интеграла. Этот союз биолога, техника и математика позволяет надеяться, что наука бионика проникает туда, куда не проникал еще никто, и увидеть то, что не видел еще никто.

Возможно, развитие бионики уже в скором времени сделает многое непривычным в мире техники. И самые неожиданные сюрпризы ждут нас в разработке различных приборов обнаружения, методах добычи полезных ископаемых и производства веществ. А в технике — и этого ожидают — появятся такие системы управления, куда будут «встроены» новые, биологические машины.

Заглядывая далеко вперед, ученые предсказывают наступление подлинной биоэры. Контуры ее пытаются обрисовать уже сегодня, основываясь на первых успехах бионики. В большой книге, рассказывающей о состоянии новой науки, говорится, что в будущем, по примеру живой природы, мы начнем строить орнитоптеры, быстроходные подводные лайнеры, вездеходы для путешествий по Луне, Марсу, Венере и другим планетам; воздвигать на Земле лучезарные города из домов-деревьев

и сказочной красоты поселения на дне морей и океанов; свободно ориентироваться в космосе, как птицы в воздухе; точно прогнозировать изменения погоды, наступление землетрясений и вулканических извержений; выращивать различные радиоэлектронные устройства, невиданные биомеханизмы, искусственные нейроны; строить белковые вычислительные машины... Прямое превращение солнечного света в одежду и продукты питания по образцу фотосинтеза, происходящего в каждом зеленом листе... Вместо громоздких машин — искусственные мышцы... Управление самолетами, станками, автомобилями и ракетами простым усилием воли, мысли, без всяких штурвалов и рулей...





БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ ЦИФРОВАЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МАШИНА

Вычислительная машина с программным управлением, основными элементами которой являются электронные приборы. Она способна производить за единицу времени определенное количество операций с величинами, представленными в цифровой форме.

МОЛНИЕНОСНЫЙ СЧЕТ

Большинство из вас, наверное, даже не предполагает, каким количеством цифр окружен современный человек. Не будет большим преувеличением, если мы скажем, что число арифметических действий, которые ежемесячно производятся на земном шаре, не уступит числу капель в море или звезд в Галактике.

Еще сто лет назад с расчетами справлялись небольшие группы людей. Теперь же вычислениями заняты и ученые, и конструкторы, и инженеры, не говоря уж о счетоводах, бухгалтерах, кассирах, нормировщиках, вся жизнь которых проходит в схватках с числами. При этом почти все вычисления выполняют с помощью всевозможных вычислительных машин. Без машин, лишь с карандашом в руках, даже половина человечества не смогла бы сегодня обеспечить расчетами другую половину, занятую производительным трудом.

Без счетных машин немыслима нормальная жизнь современного общества, невозможно развитие науки и техники. Но и с помощью машин для счета — обычных, неэлектронных — люди уже не могут справиться с решением чрезвычайно сложных задач, которые выдвигает жизнь.

И вот на приступ чисел ринулись электронные вычислительные машины, появившиеся свыше 20 лет назад во многих странах.

«Сфокусировав» в себе достижения в области физики, радиоэлектроники и технологии производства электронных и магнитных элементов, электронные машины стали наиболее мощным и гибким вычислительным инструментом, который когда-либо был создан человеком. Быстродей-

ствующая машина способна выполнить миллионы и больше операций в секунду.

Молниеносный счет... Да, это так, электронные вычислительные машины действительно молниеносно разделываются с потоком чисел. За одну секунду машина делает во много раз больше операций, чем опытный вычислитель с арифмометром за 8 часов работы. За несколько часов машина производит столько расчетов, сколько не под силу одолеть хорошему математику за всю жизнь.

Невероятно быстрый счет — это лишь одно из необыкновенных свойств удивительной машины, которая может извлекать корни, интегрировать, решать и простейшие задачи алгебры, и сложнейшие дифференциальные уравнения. Все теперь под силу электронному автомату. Машина успешно вторгается и в области, еще совсем недавно считавшиеся исключительной привилегией человека. Машины управляют станками, цехами, заводами. Машинное управление производственными процессами намного повышает производительность труда, облегчает труд рабочих.

А управление экономической деятельностью предприятий? Машина-«экономист» приняла от человека многие функции по разработке и анализу различных экономических показателей. Преимущества и здесь налицо: повышается оперативность управления, сокращается число людей, занятых в сфере управления.

И этим не ограничивается круг деятельности электронно-вычислительных машин. Есть машины-конструкторы, машины-переводчики, информационные машины, обучающие машины, машины-метеорологи...

Как же работают такие электронные умельцы? Об этом вам расскажут многие главы нашей энциклопедии. Здесь же вы узнаете о принципе устройства электронной цифровой машины.

●

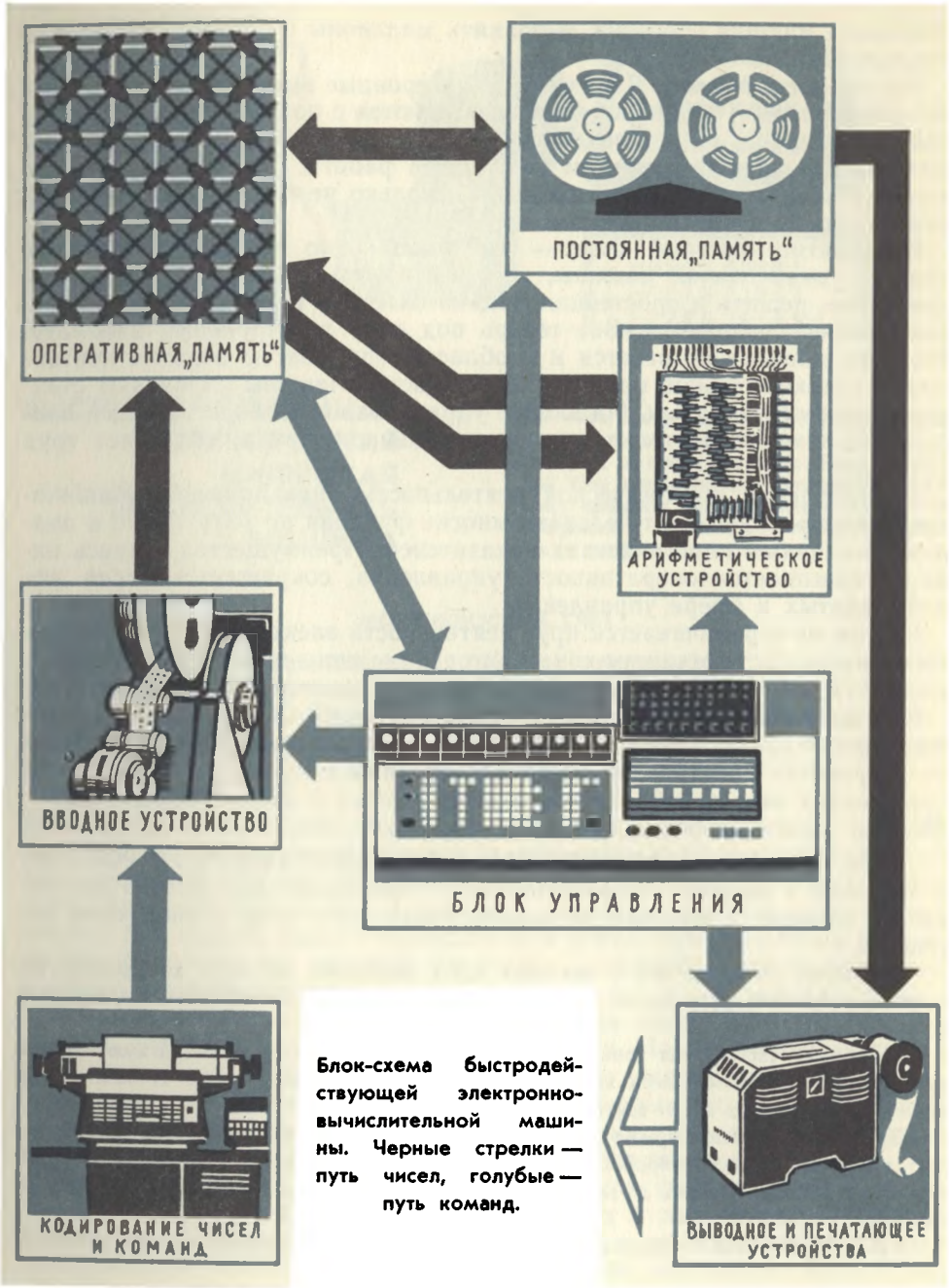
ПУТЬ ЧИСЕЛ В МАШИНУ НАЧИНАЕТСЯ С КОДИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА. В нем числа и команды «перевоплощаются» — приобретают вид, удобный для машинных операций, и поступают во вводное устройство, а затем в оперативный накопитель.

Некоторые из чисел так и остаются здесь постоянно, до поры до времени не вступая в действие. Для других оперативный накопитель — своего рода пересыльный пункт.

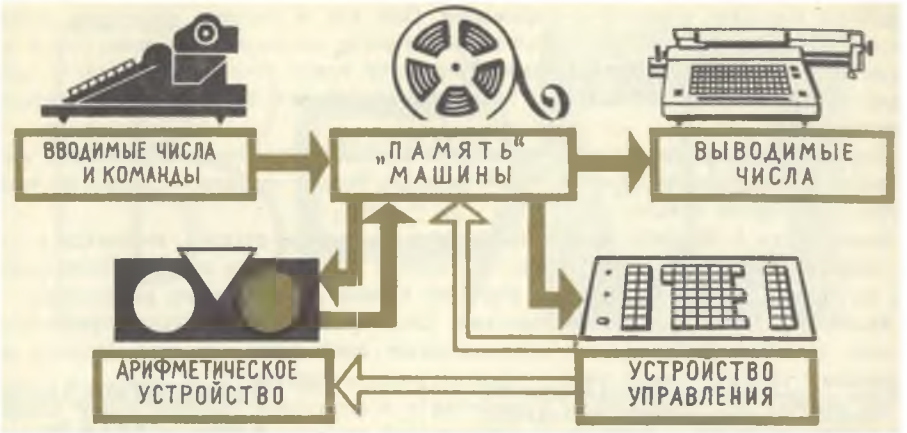
Через него часть чисел попадает в постоянную «память» — своеобразную «записную книжку» машины. Здесь хранятся сотни тысяч, миллионы чисел. И запись эта может хранить числа очень долго.

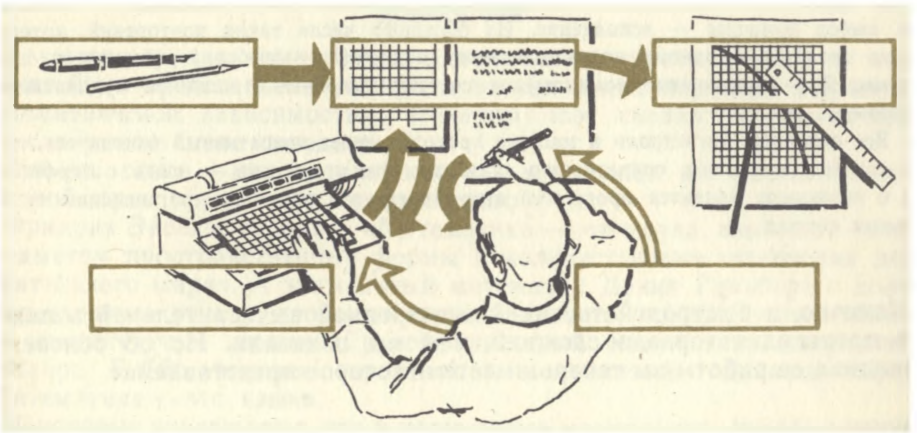
Другая часть чисел нужна для немедленной переработки: она тотчас же поступает в арифметическое устройство, состоящее из сумматоров, схем умножения, деления и вычитания. Они-то и выполняют все арифметические действия посредством сложения.

Кроме постоянной — долгосрочной — «памяти», в электронной машине работает



Блок-схема быстродействующей электронно-вычислительной машины. Черные стрелки — путь чисел, голубые — путь команд.





Человек и машина ведут вычисления очень похоже. Стрелки показывают движение управляющих сигналов.

«память» оперативная. Она нужна для запоминания данных, которые часто используются во время работы. Объем оперативной «памяти» небольшой, но зато она выдает числа быстро, «по первому требованию».

Окончательные результаты вычислений — «готовая продукция» машины — поступают в выводное устройство и печатаются на бумажных лентах или бланках установленной формы.

Руководит всей работой управляющее устройство — ведущий элемент сложного электронного агрегата. Если для всех частей машины искать сравнения, то для этого

устройства подходит аналогия с дирижером. Оно, как и дирижер оркестром, командует разными частями машины: какой из них и когда вступать в действие, что и как делать. Как и дирижеру, управляющему устройству нужна своя «партитура» — план-приказ на производство вычислений. Такой партитурой для машины служит программа вычислений.

Идя за стрелками на рисунке, вы можете в общих чертах проследить пути чисел и команд в электронной вычислительной машине. Черные стрелки — «дороги» чисел, голубые — «дороги» команд.

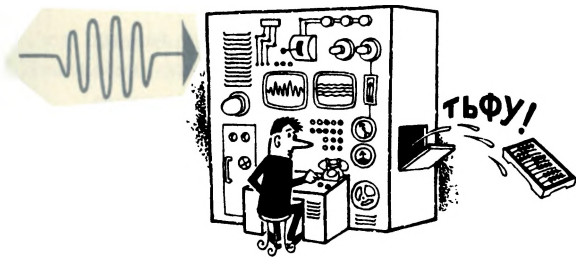
Если бы мы с большой высоты посмотрели на тысячи поездов, мчащихся в разных направлениях по стальным путям, то увидели бы похожую картину. Беспорядочный, на первый взгляд, бег поездов подчинен единой цели, единому расписанию.

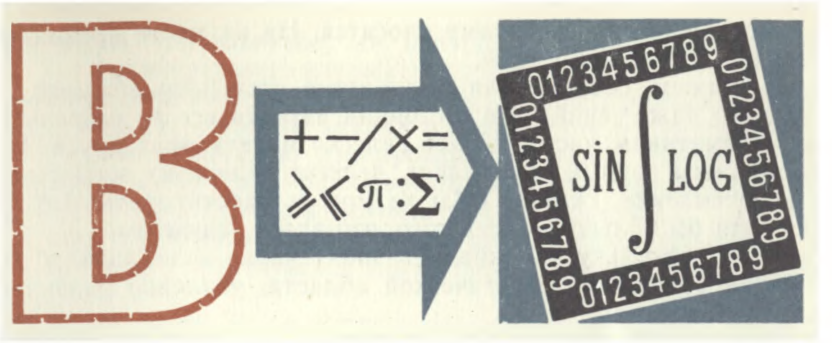
Машина работает отдельными тактами. Посмотрите на управляющее устройство. Из всех устройств машины оно, конечно, имеет наибольшее значение. Именно оно обеспечивает автоматическую работу вычислительного агрегата.

На рисунке от управляющего устройства и к нему идут голубые линии команд. Такт работы машины — команда из оперативной «памяти» подается в управляющее устройство. Она фиксируется здесь, а уже в следующем такте управляющее устройство реализует эту команду. Специальный счетчик считает одну выполненную команду за другой. Это все время повторяющийся процесс: выбор команды — исполнение, выбор команды — исполнение. Из большого числа таких повторений, которые кратко сводятся к одному автоматическому циклу (1 — выборка команды из программы; 2 — выполнение команды), и состоит выполнение машиной предписанной программы.

Все основные магистрали в машине проходят через оперативный накопитель, или, как его еще называют, оперативную «память». Это и понятно — сюда с перфолент или с перфокарт вводится программа вычислительного процесса, составленная из отдельных команд.

Конечно, в быстродействующей электронной вычислительной машине все происходит гораздо сложней, чем мы показали. Но об основе, о принципе ее работы вы теперь имеете некоторое представление.





ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МАТЕМАТИКА

Область математики, изучающая методы доведения математических задач до числового результата и методы использования вычислительных средств.

ДОБРАЯ ФЕЯ

Кажется, трудно сомневаться в величии математики — все в мире может быть представлено числом, а всякая в нем перемена выражена математической зависимостью. Недаром поэт сказал: «...все оттенки смысла умное число передает».

Что это такое — математика, которая все может, все постигает, для которой практически нет невозможного?

Фридрих Энгельс говорил: «Математика — это наука, имеющая своим предметом пространственные формы и количественные отношения действительного мира». А знаменитый математик Давид Гильберт с долей превосходства считал, что «математика — это то, что под этим понимают компетентные люди». Другой известный математик, американец Уиллард Гиббс, человек скромный и молчаливый, однажды изрек: «Математика — это язык».

Некоторые утверждают, что в наше время математика, подобно искусству, подмечает явления в реальной жизни, объединяет аналогичные события, процессы и факты, обобщает их.

Но самое близкое духу нашего времени высказывание сделал выдающийся математик современности академик А. Н. Колмогоров: «Математика — это то, посредством чего люди управляют природой и собой».

В свое время великий математик Карл Фридрих Гаусс назвал математику царицей всех наук. Но она скорее добрая фея. От нее можно получить не волшебное средство для решения всех задач, а точные методы. И хотя известно, что и высшая математика берет свое начало от пяти пальцев, математику сегодня можно сравнить с большим городом, окраины которого все время разрастаются, а центр периодически перестраивается, каждый раз по все более ясному плану. Старые квар-

талы с запутанными переулками сносятся. На их месте прокладываются широкие и удобные улицы.

Прямо скажем, современная математика настолько обширна, разнообразна, что даже гений не в состоянии изучить все ее разделы. Даже самим математикам часто бывает нелегко понять друг друга. Не случайно однажды видный специалист, делегат одного из всемирных конгрессов математики, сказал: «Мы не можем рассчитывать, что поймем все или хотя бы бóльшую часть того, что здесь услышим».

И все же, поскольку мы живем в эпоху чисел и анализа, в математике, кроме обширной теоретической области, усиленно развивается и область практическая.

Она, по существу, сегодня служит для науки и техники своеобразным инструментом.

Академик А. Н. Крылов, высокообразованный математик, когда-то сказал: «Это есть инструмент такой же, как штангель, зубило, ручник, напильник для слесаря или полусаженок, топор и пила для плотника».

Конечно, математика — инструмент неизмеримо более сложный. Ведь для получения соответствующего решения задачу надо довести до получения числа. А это в наше время не так просто.

Испытание модели в аэродинамической трубе может дать до четверти миллиона точных чисел показателей. Миллиарды показателей поступают ежедневно в бюро прогнозов. А сколько цифрового материала дают переписи, опросы населения, статистический учет в торговле. Даже сугубо теоретические исследования рождения новых тяжелых частиц атомного ядра требуют изучения и обработки 102 тысяч фотоснимков ядерных реакций.

Еще недавно — всего лет 20 назад — нельзя было и думать, чтобы за обозримый промежуток времени рассчитать различные варианты движения космических кораблей, работы атомных реакторов, течение газовых струй в сверхбыстрых потоках, нельзя было провести расчеты внутриатомных сил или ядерных ускорителей.

Теперь подобные расчеты не смущают ученых. Старинную науку математику обогатили и новыми методами, и новыми средствами.

Лишь один пример. Математик Шенкс в свое время потратил жизнь на то, чтобы вычислить число π с точностью до 707 десятичных знаков. Такой результат получил славу рекорда вычислений XIX века. Недаром на могиле математика лежит плита без единой надписи — на ней изображен только знак π. Теперь же счетная машина довольно быстро вычисляет это число с точностью до 2035 десятичных знаков!

Благодаря вычислительной технике большое развитие получила вычислительная математика, и математические абстракции стали входить в повседневную жизнь.

Сегодня можно говорить не только о математизации науки, но и о математизации жизни. В этом немалую роль играет и вычислительная математика. Если бы она не позаботилась о совершенствовании методов

вычислений, то, наверное, не меньше половины человечества должно было бы непрерывно заниматься вычислениями.

Выдающиеся математики знали: без хорошо разработанной техники вычислений все огромное здание теоретической математики может превратиться в гигантскую изолированную башню. Запертые в ней абстрактные теории были бы обречены на медленное угасание. Животворная связь теоретической математики с практикой, осуществляемая через вычислительную математику и вычислительную технику, помогает человеку в его практической деятельности и двигает вперед математическую науку.

Сократить путь от сложных математических уравнений до конкретного числа, ускорить движение чисел со ступеньки на ступеньку и освободить человека (проводника чисел) от утомительной работы — вот постоянный девиз творцов вычислительной математики.

●

ПОУЧИТЕЛЬНА ИСТОРИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАТЕМАТИКИ. Но, к сожалению, за недостатком места мы не можем о ней рассказать более или менее полно и вынуждены дать всего лишь несколько набросков, небольшой эскиз.

Греческие астрономы использовали математические методы для изучения законов движения небесных светил. В связи с этим они много сделали для развития вычислительной математики.

Труды греческих астрономов завершаются исследованиями знаменитого александрийского математика и астронома Клавдия Птолемея. Он жил в первой половине II века н. э. и оставил после себя сочинения в 13 томах под названием «Великое собрание, или Великое построение». Это была своего рода энциклопедия астрономических знаний того времени. До нас она дошла под греко-арабским названием «Альмагест».

В «Альмагесте» приведены результаты огромной вычислительной работы, проделанной Птолемеем. Они представлены в виде таблиц синусов и предназначались для облегчения труда астронома.



На вавилонском клинописном тексте представлен квадрат с диагональю. Сторона равна 30, что записано вверху слева. Около диагонали записано приближенное значение $\sqrt{2}$.

По таблицам можно было определить синусы дуг до 90° через каждую четверть градуса, а по теореме Пифагора — вычислять любой элемент (сторону или угол) плоского прямоугольного треугольника, два других элемента которого известны.

Таблица Птолемея — первая из дошедших до нас тригонометрических таблиц.



Выдающийся математик и астроном Улугбек вычислял с шестнадцатью знаками после запятой отношение длины окружности к радиусу, то есть число 2 π. Постепенно увеличивая число сторон правильного многоугольника и приближаясь к окружности, он дошел до многоугольника с 800 355 168 сторонами!

Длительный период римского господства в Европе не отмечен какими-либо выдающимися достижениями в математике. Только александрийский ученый Диофант, живший в III веке н. э., внес в алгебру новые своеобразные алгебраические уравнения.

Огромную роль для техники вычислений сыграло изобретение логарифмов. Оно повлияло на всю методику решения математических задач. Привыкшим со школьной скамьи пользоваться таблицами логарифмов трудно даже представить себе изумление и восхищение, которое вызвало их появление.

Великий ученый П. С. Лаплас писал: «Изобретение логарифмов, сокращая вычисления нескольких месяцев в труд нескольких дней, словно удваивает жизнь астрономов».

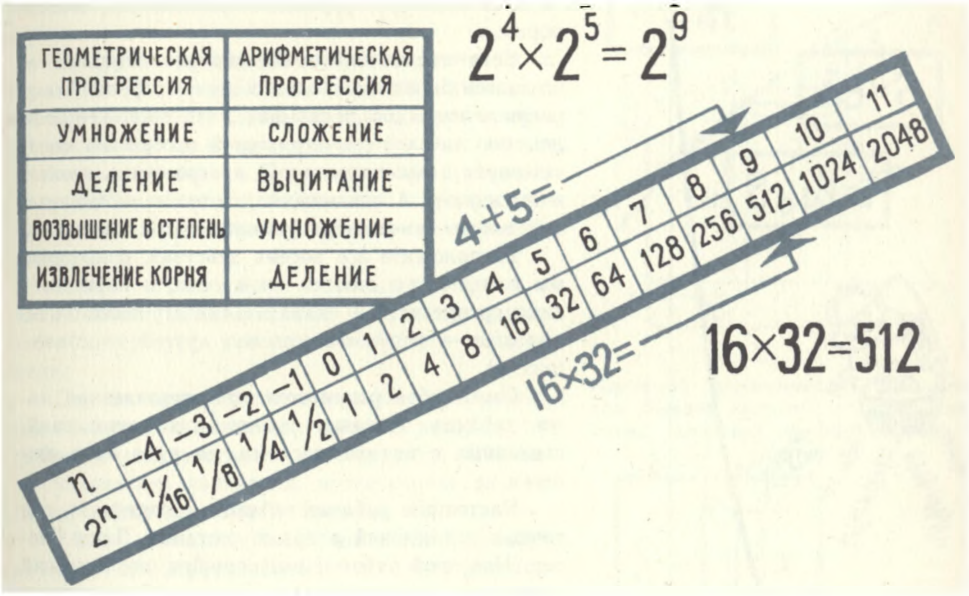
Он говорил об астрономах потому, что сам был астрономом и в те времена им приходилось выполнять наиболее сложные и утомительные вычисления.

Слово «логарифм» греческое. Оно составлено из двух слов: «логос» — «отношение» и «аритмос» — «число». Таким образом, «логарифм» означает «число, измеряющее отношение».

На чем основаны удивительные свойства этих чисел, облегчающие вычислительный труд, те таблицы, которыми пользуетесь и вы на уроках математики?

Несколько простых примеров помогут вам в этом разобраться.

Возьмем какое-нибудь число, например 2, и составим таблицу чисел, полученных от его возведения в степень целых чисел:



Вверху показано, что действиям над числами в геометрической прогрессии соответствуют более простые действия над ними в арифметической прогрессии.

Верхняя строчка таблицы — арифметическая прогрессия с разностью, равной единице. Нижняя — геометрическая прогрессия со знаменателем 2. Этой таблицей можно уже пользоваться для упрощения вычислений.

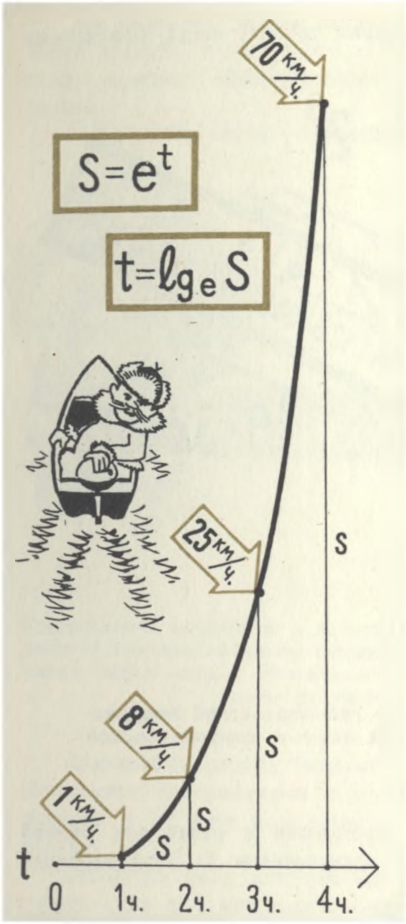
Попробуем с ее помощью умножить 16×32. В верхней строке таблицы над этими числами стоят 4 и 5. Сложим их. Получим 9. А под девяткой в нижней строке, как видите, находится число 512. Это и будет искомый результат. Действительно, 16×32=512.

Почти так же можно найти частное от деления двух чисел, например 8 на 1/16. Но теперь нужно взять разность чисел, расположенных в таблице над ними. Она равна 7, так как 3 — (—4) после раскрытия скобок и сложения дадут 7. В нижней строчке этой разности найдем искомое частное: 128.

А такое сложное действие, как извлечение кубического корня из трехзначного числа, например из 512, делается с необыкновенной легкостью.

Судите сами. Взгляд на таблицу, и мы находим показатель степени для 512. Он равен 9. Теперь разделим его на степень кубического корня — на 3. И вот под частным, равным 3, тотчас же появится ответ — 8. Это и есть значение корня.

Наша таблица очень примитивна, но все же дает наглядное представление об



Расстояние (S) и время (t) связаны логарифмической зависимостью. Она показана кривой Непера.

общих свойствах членов арифметической и геометрической прогрессии. Они-то и могут быть использованы для упрощения вычислений. Каким образом?

Если попытаться объяснить это словами, то пришлось бы написать много скучных фраз. А вот рисунок наглядно показывает, что умножению и делению чисел в геометрической прогрессии соответствует в арифметической прогрессии сложение и вычитание. А возвышение в степень и извлечение корня заменяются умножением и делением.

Расположите все восемь действий, о которых мы говорим, по степени сложности, и ваша таблица превратится в удивительные ступеньки: сделал шаг — упрощение, сделал другой — совсем просто!

Само собой разумеется, что составленная нами таблица пригодна только для вычислений, связанных с целыми числами, да и то не с любыми.

Настоящие рабочие таблицы логарифмов для точных вычислений впервые составил Джон Непер. Над этой работой выдающийся шотландский математик трудился около 20 лет. О причинах, побудивших его к этому, Непер говорил:

«Я старался, насколько мог и умел, отделаться от трудности и скуки вычислений, докучность которых обычно отпугивает весьма многих от изучения математики».

Выдающееся значение работ Непера в том, что он раскрыл сущность логарифма как новой, до него неизвестной математической зависимости. Ее открытие имело для вычислительной математики столь же большое значение, как открытие тригонометрических функций.

Со времени гениального изобретения Непера прошло около 350 лет. Более 500 различных образцов таблиц логарифмов было создано с тех пор. Они прочно вошли в арсенал вычислительных средств и по сей день занимают почетное место как пособие, облегчающее человеку вычисления.

Миллионы специалистов пользуются в повседневной работе логарифмами, начиная от сверхточных — двадцати- и более значных — таблиц и кончая «деревянными логарифмами» — счетными линейками, незаменимым средством технических расчетов.

Люди всегда жили и теперь живут в мире непрестанного движения. Все, что нас окружает, движется: меняются с течением времени взаимное расположение планет

Солнечной системы, температура и давление воздуха, силы, действующие в машине, токи, протекающие в электрической цепи, состояние живой клетки.

В других процессах движение протекает с огромными скоростями и длится сотые, тысячные, иногда миллионные доли секунды. Стремительно падает давление воздуха в районе, к которому приближается циклон. С колоссальным ускорением движутся элементарные частицы в синхрофазотроне: они за секунды пробегают космические расстояния.

И при исследовании подобных процессов — их называют динамическими — ученых прежде всего интересует, как они изменяются во времени.

Для анализа и расчета динамических процессов нужны математические методы, которые, подобно сверхскоростному киноаппарату, позволяют улавливать изменения, происшедшие за ничтожно малые промежутки времени.

Таким «киноаппаратом» вычислений явились методы дифференциального и интегрального исчисления — науки об изменяющихся величинах. Ее создали гениальные математики Г. Лейбниц, И. Ньютон, Л. Эйлер и их ученики и последователи.

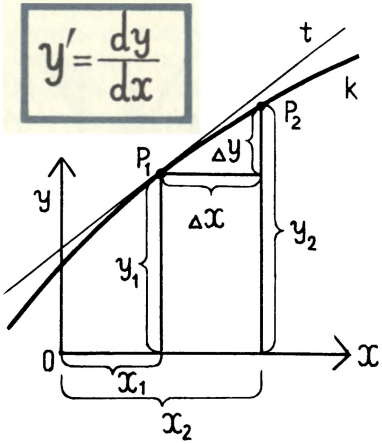
Но одно дело исследовать явления, столь же закономерные, как смена дня и ночи, чередование времен года, и совершенно другое дело изучать процессы, подверженные воздействию различных случайных обстоятельств.

Монета, брошенная вверх, с неизбежностью падает на землю. Можно даже вычислить, через сколько секунд это произойдет.

Но никакие расчеты не могут предугадать, какой стороной она упадет — гербом или решеткой. Она может упасть и так и сяк, и это зависит от множества случайных обстоятельств.

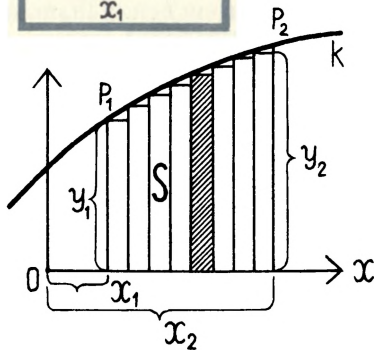
Игры, основой которых является случайный исход, интересовали таких выдающихся математиков, как Б. Паскаль и П. Ферма. Зародилась новая отрасль человеческих знаний — теория вероятностей. Было доказано, что вероятность — величина, доступная измерению.

$$y' = \frac{dy}{dx}$$

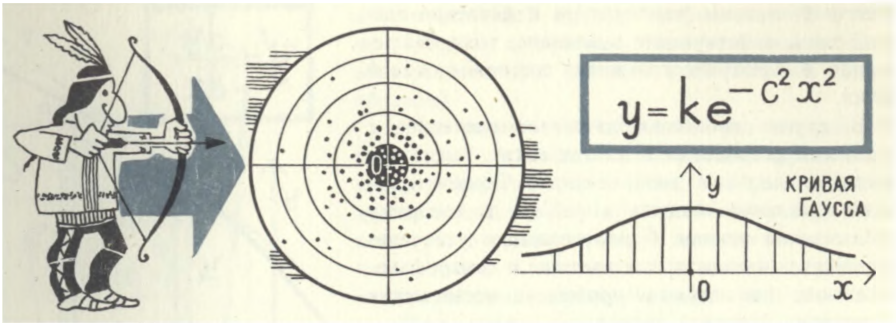


Изучение динамических процессов бывает связано с решением очень сложных дифференциальных уравнений.

$$S = \int_{x_1}^{x_2} y\,dx$$



Математика уловила тот предельный переход, при котором ступеньки прямоугольников превращаются в плавную кривую. Она нашла предел, к которому стремится сумма (S) при бесконечном возрастании числа слагаемых, каждое из которых стремится к нулю. Этот предел называется интегралом функции.



Математики сделали поразительное открытие: случайные величины подчиняются совсем не случайным закономерностям. Благодаря этому можно предвидеть среднюю точку попадания и заранее предсказать, в каких пределах будут находиться различные отклонения от средней величины.

Но только в XIX веке трудами таких математиков, как К. Ф. Гаусс, П. Л. Чебышев, А. А. Марков, А. М. Ляпунов, теория вероятностей выросла в самостоятельную науку, в ту отрасль математики, которая получила в дальнейшем огромное практическое значение.

●

Немало времени затратили многие выдающиеся ученые на утомительные вычисления в поисках новых путей в математике и для проверки результатов своих вычислений.

Математики-вычислители не строят машин и зданий, в их кабинетах нет весов и колб, гальванометров и микроскопов, они не ставят опытов. Но математики вооружают машиностроителей и архитекторов, физиков и химиков, биологов и экономистов умением решать задачи, вооружают новейшими математическими методами.

Мы с вами — современники выхода вычислительной математики из колыбели. Родившись из запросов практики, она теперь сама влияет на развитие теории. Требует от теории новых эффективных методов, принципиально отличных от прежних.

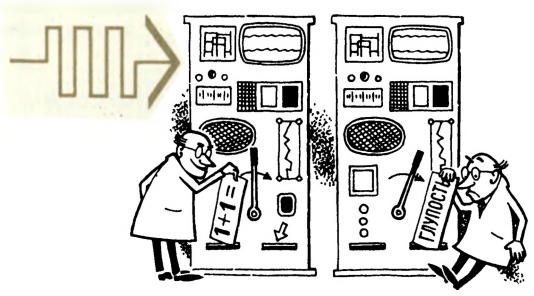
Вычислительная математика сегодня разрабатывает правила численного расчета различных математических задач, оценивает сложность, трудоемкость и точность алгоритмов и методы их программирования на вычислительных машинах. Эта работа чрезвычайно сложная. Есть алгоритмы, содержащие до миллиарда и более арифметических операций.

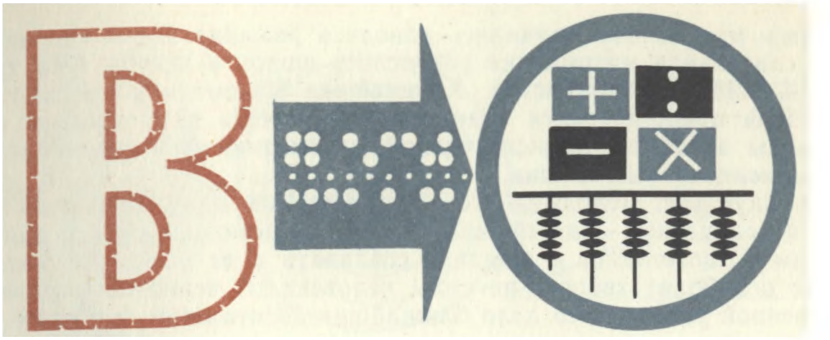
Вычислительная математика помогает не только традиционным своим подопечным — механике, физике, астрономии, — но и таким, казалось бы, далеким от нее разделам науки, как геология, медицина, лингвистика, экономика.

И здесь математики научились доводить решение задач «до числа».

Вычислительная математика разрослась вширь и вглубь. Она требует очень много специалистов. Крупнейшие математики считают, что уже теперь представляется возможным включить в программы средней школы элементы вычислительной математики и изучение устройства вычислительных машин.

«Они ждут вас, молодые, — говорит академик И. Виноградов, обращаясь к молодежи. — Вам прокладывать с ее помощью пути к далеким планетам и, возможно, к звездам, создавать с ее помощью машины, которые освободят творческие силы человека от черновой физической и умственной работы. Это дело ближайших десятилетий, и к нему надо быть готовым».





ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Совокупность средств для облегчения и ускорения процессов вычислений (счета) путем частичной или полной их автоматизации, а также отрасль техники, занимающаяся разработкой, изготовлением и эксплуатацией этих средств.

ОТ СЛИВОВЫХ КОСТОЧЕК К БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИМ МАШИНАМ

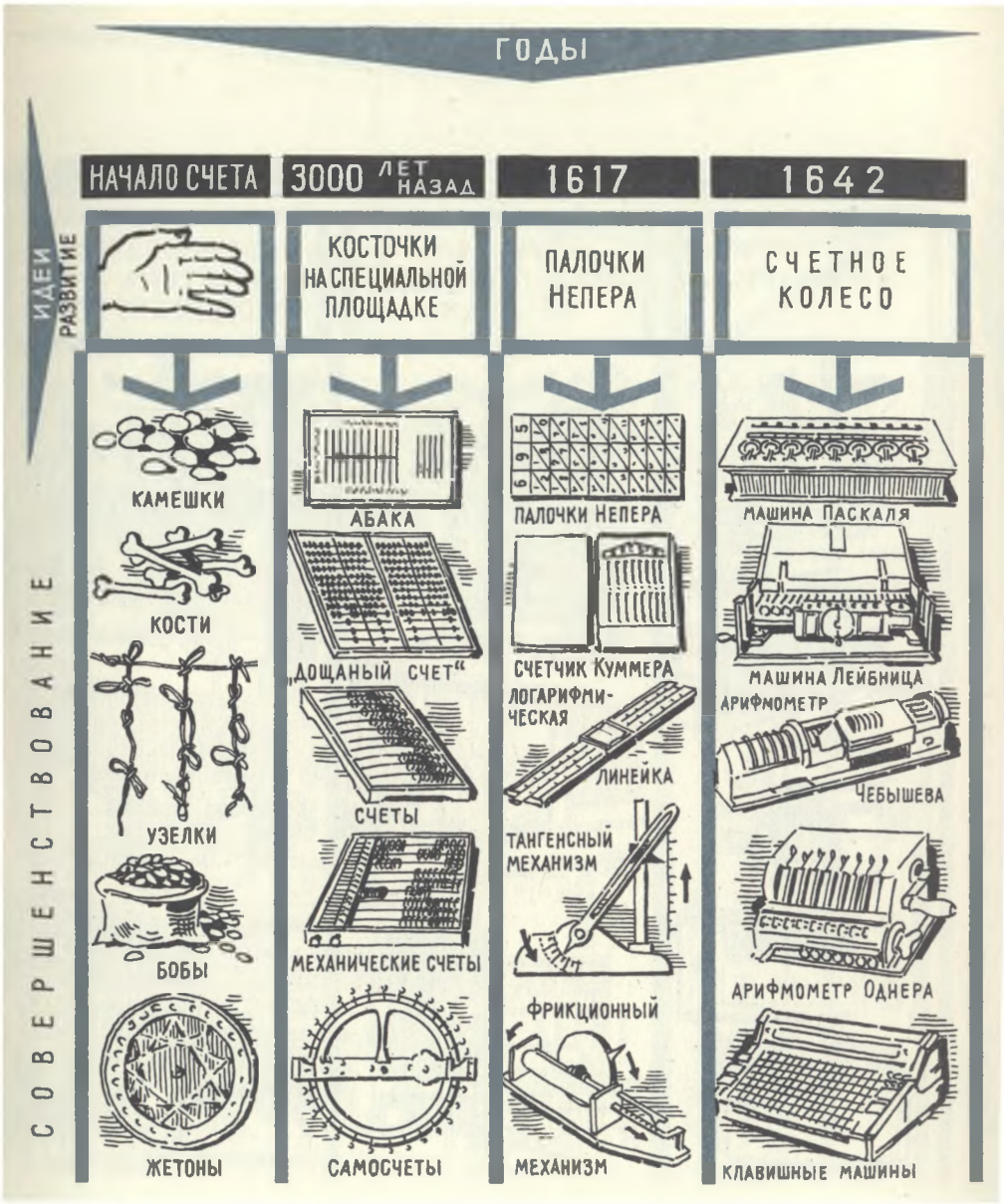
Один иностранец, побывавший в России 400 лет назад, во времена Ивана Грозного, заметил в приказах писцов сливовые и вишневые косточки, которые каждый носил при себе в мешочке. Иностранец записал: «В русской земле счет ведут при помощи сливяных косточек».

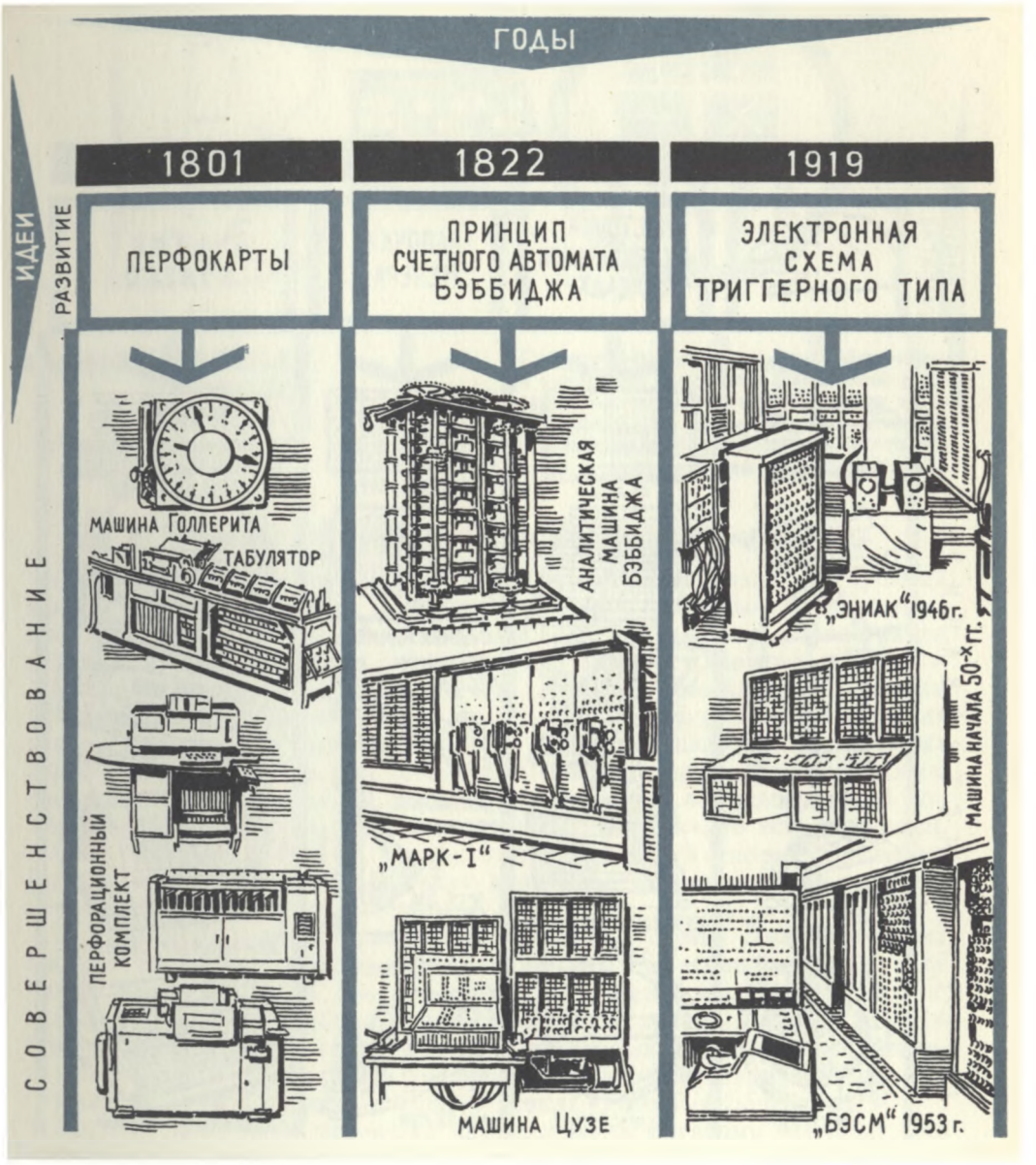
История приспособлений для счета длинная, тысячелетняя. Самым древним «инструментом счета», который сама природа предоставила человеку, была его собственная рука — «десять пальцев, на которых люди учились считать, то есть производить первую арифметическую операцию...», как писал Ф. Энгельс. Не случайно в древнерусской нумерации первые десять цифр назывались «перстами», то есть пальцами.

Счет костями в России возник как самобытный способ счисления. Впоследствии он подготовил почву для появления «дощаного счета» — прообраза современных счетов.

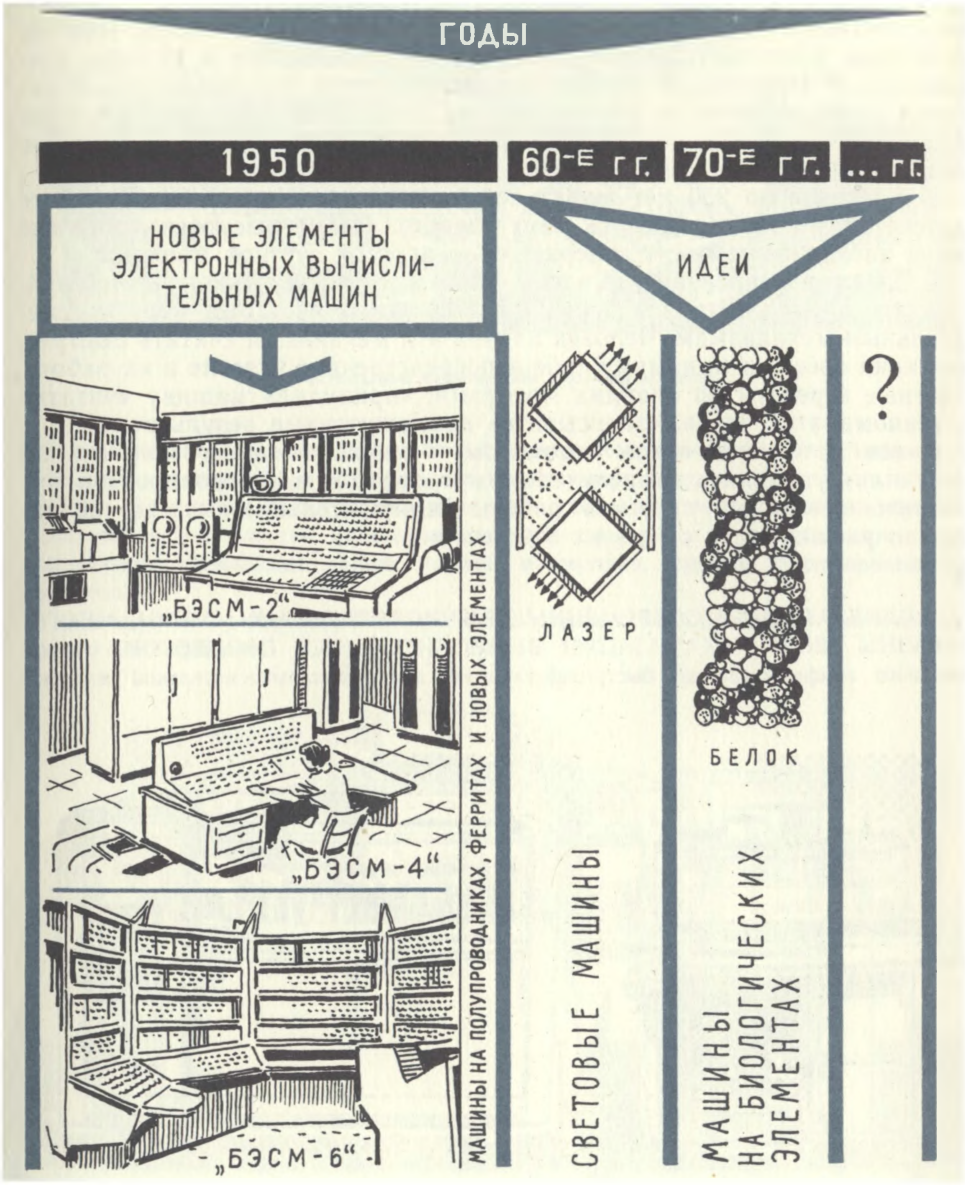
В Эрмитаже хранятся различные старинные счеты. Два неглубоких ящичка соединены между собой на петлях и раскрываются в виде книги. Когда сложишь обе половинки, получается изящная шкатулка, запирающаяся на серебряный крючок. Вся шкатулка собрана из пластинок и брусков слоновой кости, соединенных серебряными гвоздиками. Внутри и снаружи шкатулка украшена орнаментом, костяшками служат бусы из красного и черного стекла с белыми разводами.

Дорогая шкатулка, вероятно, принадлежала богатому человеку. Но отсюда не следует, что «дощаный счет» был доступен лишь богатым. В рукописи XVII века говорится: «Им всякий торговый счет считет, и счетный, и померной, и весчий, и денежной». В том же Эрмитаже


ГОДЫ
НАЧАЛО СЧЕТА
3000 ЛЕТ НАЗАД
1617
1642
ИДЕИ РАЗВИТИЕ
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ
КОСТОЧКИ НА СПЕЦИАЛЬНОЙ ПЛОЩАДКЕ
ПАЛОЧКИ НЕПЕРА
СЧЕТНОЕ КОЛЕСО
КАМЕШКИ
КОСТИ
УЗЕЛКИ
БОБЫ
ЖЕТОНЫ
АБАКА
„ДОЩАНЫЙ СЧЕТ"
СЧЕТЫ
МЕХАНИЧЕСКИЕ СЧЕТЫ
САМОСЧЕТЫ
ПАЛОЧКИ НЕПЕРА
СЧЕТЧИК КУММЕРА
ЛОГАРИФМИЧЕСКАЯ ЛИНЕЙКА
ТАНГЕНСНЫЙ МЕХАНИЗМ
ФРИКЦИОННЫЙ МЕХАНИЗМ
МАШИНА ПАСКАЛЯ
МАШИНА ЛЕЙБНИЦА
АРИФМОМЕТР ЧЕБЫШЕВА
АРИФМОМЕТР ОДНЕРА
КЛАВИШНЫЕ МАШИНЫ



Из истории развития



вычислительной техники.

В

есть счеты, устроенные в грубом ящичке из еловых дощечек, сколоченных гвоздями. Конечно, такой «дощаный счет» был доступен многим. В России даже выпускались специальные руководства в помощь считающим. В 1682 году в Москве вышла книжечка под названием «Считание удобное, которым всякий человек, купующий и продающий, дело удобное изыскати может, число всякие вещи». В книжечке приводилась таблица произведений целых чисел от 1 до 100.

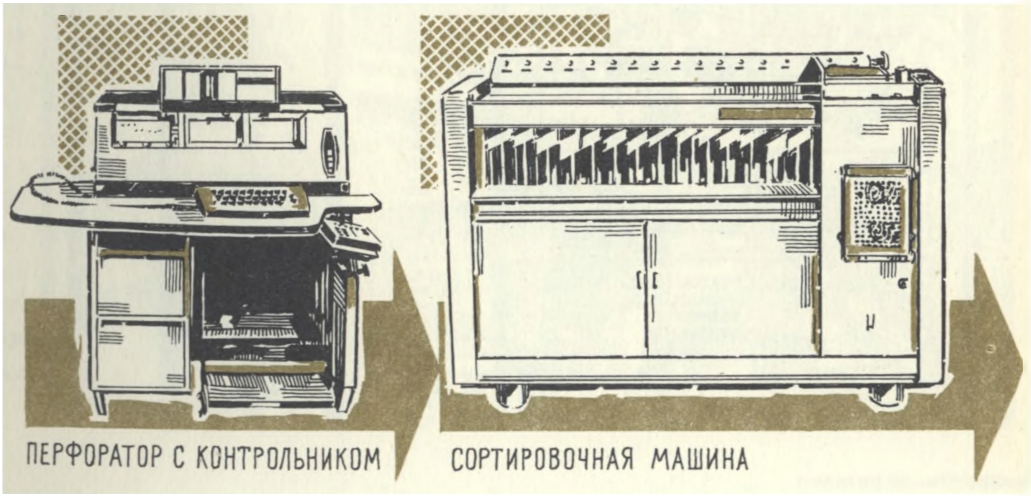
Вот уже около 250 лет живут счеты, почти не изменяясь. В работе на счетах можно достигнуть виртуозности. Некоторые очень опытные люди иногда даже могут соперничать с простой счетной машиной.

С развитием производительных сил росло и значение вычислений. Считать приходилось все больше и больше. И счет был поручен специальным механизмам. Человек научил эти механизмы считать быстрее, заставил свести к минимуму свое непосредственное участие в их работе. Счетные агрегаты он снабдил моторами, «принудил» машину «читать» и «запоминать» числа, «записывать» промежуточные результаты.

В век автоматов стала автоматом и вычислительная машина. Ее «научили» управлять вычислительным процессом и контролировать его. Гигантски выросла скорость работы вычислительных машин, значительно расширилась сфера их применения.

●

ВЕЛИК АРСЕНАЛ СОВРЕМЕННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, МНОГООБРАЗНЫ ПУТИ МЕХАНИЗАЦИИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ. От настольного арифмометра до быстродействующей электронно-вычислительной машины.



Счетно-перфорационный комплект

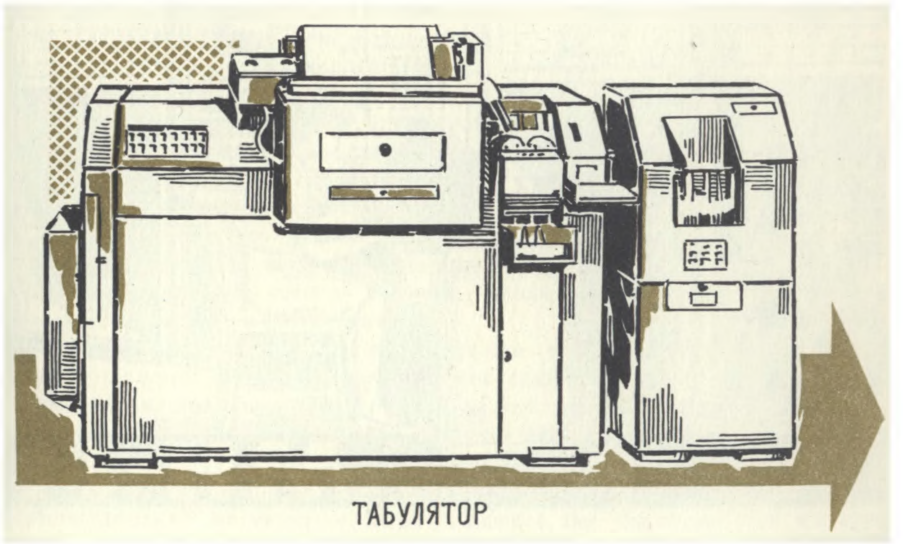


Настольные клавишные счетные машины.

От простейшего планиметра до сложной электронной моделирующей установки. От небольшого счетного бюро до мощного вычислительного центра.

Все это поставлено на службу человеку и позволяет ему с большой скоростью, точностью и надежностью выполнять арифметические действия с гигантскими числами, решать сложнейшие задачи высшей математики, изучать быстропротекающие процессы.

Сегодня вычислительная техника — необозримый парк машин. У них есть своя четкая классификация.



Счетно-перфорационный комплект

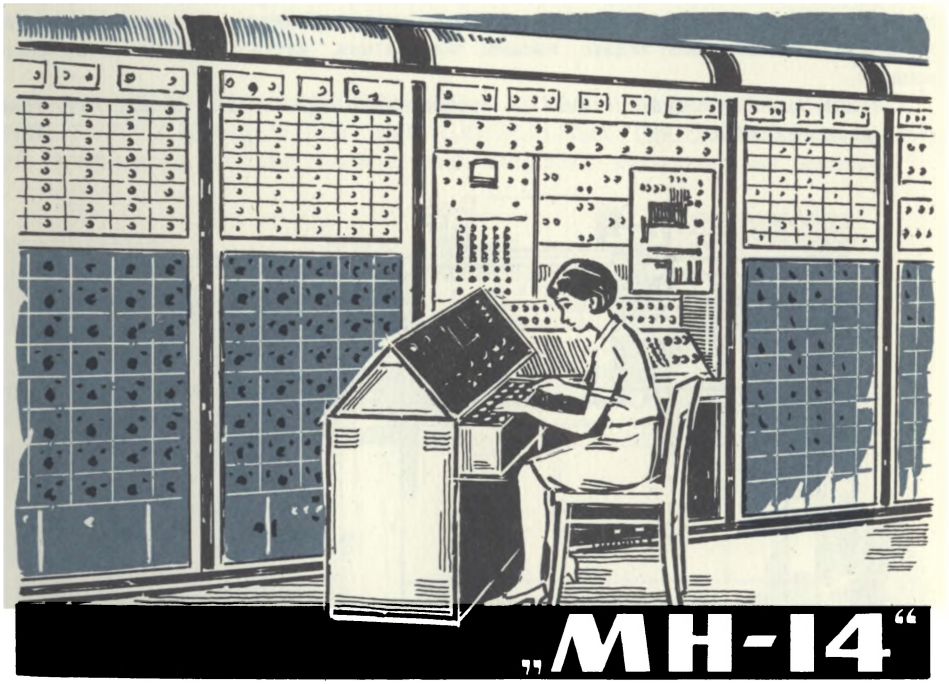
Древнейшие и наиболее простые средства вычисления способствовали созданию известного всем АРИФМОМЕТРА. Дальнейшее развитие этой ветви привело к появлению всевозможных НАСТОЛЬНЫХ КЛАВИШНЫХ МАШИН. Их можно увидеть в бухгалтериях, на счетных станциях, во всевозможных вычислительных бюро.

Рядом с ними стоит другая часть вычислительной техники — СЧЕТНО-ПЕРФОРАЦИОННЫЕ МАШИНЫ. Они работают с использованием перфорационных карточек: картонных прямоугольников с отверстиями. Полный комплект таких машин образует поточную вычислительную линию, на которой перфокарты проходят все стадии обработки.

Счетно-перфорационные, или, как их еще называют, табуляторные, машины обладают сравнительно большой производительностью — десятки тысяч карт в час.

Счетно-перфорационный комплект — основное оборудование машинно-счетных станций, бюро, фабрик. Они работают на заводах, в учреждениях, институтах, в колхозах.

Наши конструкторы продолжают трудиться над совершенствованием счетно-перфорационных машин. Комплект их дополняется и совершенствуется. Теперь созданы сортировки, табуляторы, множительные устройства на электронных элементах. Все



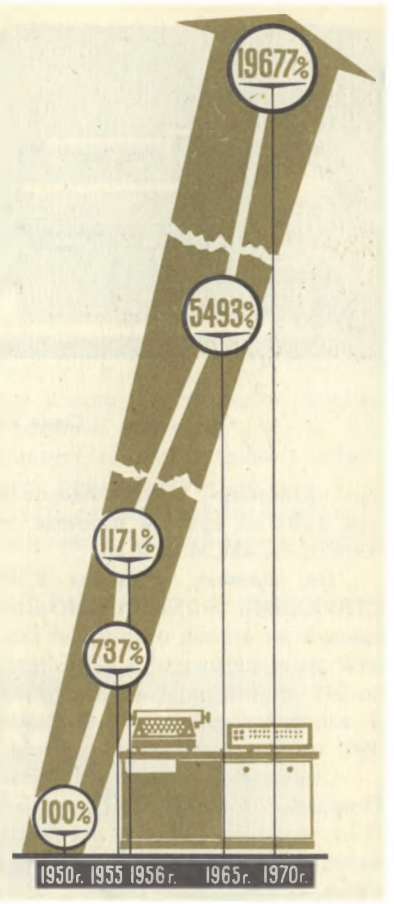
Моделирующая электронная математическая машина средней мощности. Предназначена для моделирования сложных динамических систем.

это направлено на расширение возможностей поточной счетной линии, на повышение ее производительности.

Есть еще одно направление в вычислительной технике — МОДЕЛИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА И МАШИНЫ. В них математические величины представляются не числами, не конкретными, скачкообразно меняющимися данными, а определенным масштабом физических величин: перемещением углов поворота, напряжением электротока, уровнем жидкости. Эти машины удобны тем, что позволяют производить вычисления над величинами, поступающими непрерывно, как струя воды. И ответ они дают по такому же принципу — непрерывно.

Такие устройства многие из вас видели: счетные линейки, подвижные номограммы, логарифмические линейки, различные математические инструменты — планиметры, тангенсные механизмы, пантографы и др.

Но электроника и здесь произвела революцию. Теперь построено много электронных моделирующих установок — аналоговых вычислительных машин непрерывного действия, которые быстро, с точностью до нескольких процентов решают сложнейшие системы уравнений. Эти машины просты в эксплуатации, надежны и требуют не так уж много подготовительных работ, прежде чем начать процесс вычисления.

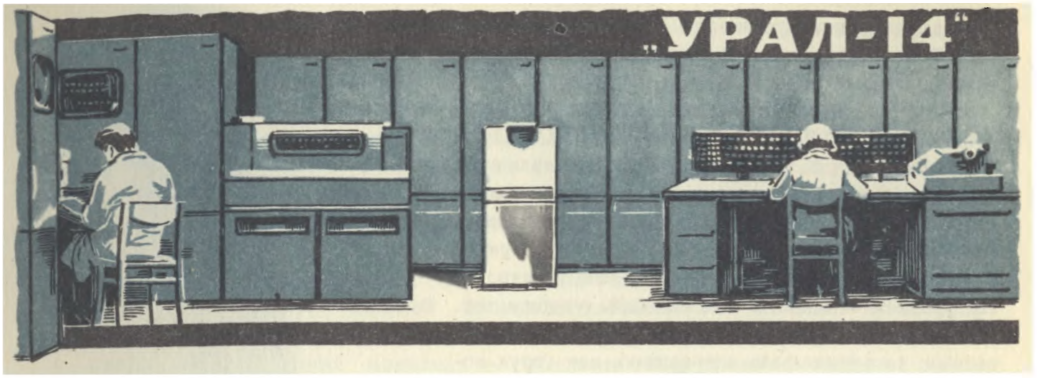


Стремителен рост выпуска математических машин в Советском Союзе.

Вот одна из них — электронная моделирующая установка из класса «ЭИ» (электронных интеграторов). Она из самых больших в своей группе. Эта модель-богатырь позволяет исследовать в 70—80 вариантах все расчеты, необходимые для расположения 50 эксплуатационных и 250 нагнетательных скважин, всего за 2—3 дня. Раньше только 100 скважин «съедали» 200 человеко-месяцев работы расчетчиков.

Другая машина — «МН-14». Исходные данные в нее вводятся автоматически. А результаты решений фиксирует электрическая пишущая машинка. При желании весь ход решения можно проследить на экране-индикаторе — специальной электронно-лучевой трубке. Для обслуживания этой машины требуются один инженер и один техник.

Перед вами продемонстрированы две моделирующие установки. Советская промышленность выпускает их много — самых различных. Все они делятся на три группы: «аналоговые машины для интегрирования», «модели для решения дифференциаль-



Одна из машин семейства «Урал».

ных уравнений», «специализированные моделирующие устройства». Смотрите, как велик даже их краткий перечень: «МПТ-9», «МН-8», «МН-10», «Интеграл-1», «МН-14», «ЭМСС-7», «УСМ-1» и др.

Но, конечно, «господа» в мире электронных устройств — это БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЕ ЭЛЕКТРОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ. В 40-х годах появились их первые образцы, а уже в 1955 году по отношению к росту перерабатывающей промышленности в ФРГ увеличение производства электронных машин было равно 546 процентам, в Италии 505, а в Англии 303. В Японии в 1957 году было только 3 электронно-вычислительных машины, а теперь более 4 тысяч. Во всем мире в 1967 году насчитывалось около 54 тысяч ЭВМ, а к 1970 году их стало более 75 тысяч.

Стремительно растет выпуск математических машин и в Советском Союзе. Отправная точка — 1950 год — 100 процентов. Через пять лет — 737 процентов. Проходит только год, и скачок за тысячу: 1171 процент. К 1965 году выпуск увеличился в 4,7 раза по сравнению с 1956 годом. А к 1970 году, продолжая неуклонно расти, он превышает 1965 год более чем в 3 раза.

Можно сказать, что теперь у нас вычислительные машины расплодились целыми семействами. Вот первое — типа «Урал». Это целая гамма: «Урал-1», «Урал-2», «Урал-3»... «Урал-10» и далее «Урал-16». Хотя все они одного семейства, назначение у них разное — они могут решать очень широкий круг математических и логических задач.

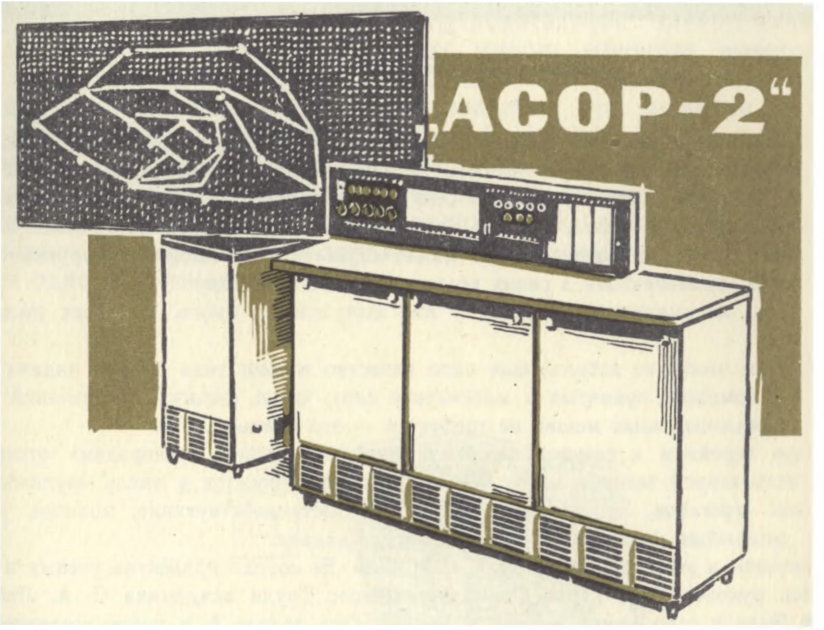
Совсем недавно появилась новая группа универсальных цифровых вычислительных машин: «Минск», «Минск-1», «Минск-2»... «Минск-22»... «Минск-32». Эта серия — из класса малых машин. Она предназначена главным образом для решения научных и инженерных задач, а также для планирования и управления производством. «Минск-22» — машина полупроводниковая. И основное ее назначение — обработка информации при планово-экономических расчетах. Что она может? Начислять зарплату, учитывать все, что хранится на складах, составлять бухгалтерские отчеты, обрабатывать статистические материалы, формировать сводную документацию на готовые изделия и многое другое, что в руководстве-описании машины называется «прочими

экономическими задачами». А кроме этого, машина может еще решать разные системы алгебраических уравнений, многооперационных арифметических действий и «других математических операций, встречающихся при решении научных и сложных инженерных проблем».

Как видите, это не просто машина, а универсальный математический комбайн — мастер на все руки, который может и готов выполнить любую задачу!

«Минск-32» еще совершеннее своего собрата «22». Считает в 5—6 раз быстрее, объем сведений, которыми может оперировать, в 8 раз больше. Машина может работать со 136 внешними приспособлениями. Управляет ею один оператор с помощью пишущей машинки.

Показ малых машин был бы неполным без универсальной «Наири», предназначенной для научно-исследовательских организаций и проектно-конструкторских бюро, без машины «Проминь» — небольшого стола, у которого в крышке пульт управления, а все устройство под ней. На этой машине-столе можно решать инженерные задачи средней сложности и производить небольшие расчеты. Интересна машина «Сетунь» — она помещается в двух шкафах. Особо следует сказать о машине «Мир», которая, несмотря на свои небольшие размеры, может решать многие системы уравнений, задачи линейного программирования, рассчитывать сетевые графики и выполнять целый ряд сложных математических операций, в том числе аналитическое преобразование формул и решение уравнений в буквенном виде.



Такие (аналого-математические) машины называют гибридными: в них объединены два принципа — цифровых машин и моделирующих.



Цифровая машина большой мощности.

Руководитель разработки машин «Мир» Герой Социалистического Труда академик В. М. Глушков так характеризует свое детище. Машина может запомнить 12 тысяч символов — это 6—7 страниц текста. Она «от рождения» помнит основные формулы, которым нас учили в школе, и знает даже кое-что из вузовской программы. Ее прозвали «электронным инженером». Она может служить незаменимым инструментом для специалистов, применяющих в своих исследованиях математику.

Но, увы, математических машин у нас выпускается много, обо всех рассказать невозможно.

Отметим, чтобы не забыть, еще одно качество машин типа «Мир»: задачи в них вводятся с помощью принятых в математике слов, чисел, формул, обозначений. Перевод на специальный язык машин не требуется — это очень удобно.

Теперь перейдем к самому важному семейству машин, «генералам» отечественной вычислительной техники, — к «БЭСМам». Они относятся к числу крупных математических агрегатов. Это машины надежные, быстродействующие, мощные, универсальные, решающие сложнейшие математические задачи.

Первенцем в этом семействе была «БЭСМ-1». Ее создал коллектив ученых и инженеров под руководством Героя Социалистического Труда академика С. А. Лебедева. Машина была в свое время лучшей в Европе. Она делала 8, а после усовершенствования 10 тысяч операций в секунду. У машины была хорошая «память» — емкая и быстрая.

Теперь эта машина — предок. Ее давно демонтировали. На смену ей пришло новое поколение: «БЭСМ-2», «БЭСМ-3». Эта машина уже делает 20 тысяч операций в секунду. У нее громадная «память» — 4 миллиона слов!

Следующее поколение — «БЭСМ-4»; за свои достоинства она была награждена дипломом Международной выставки средств механизации инженерно-технических и административно-управленческих работ в Москве в 1966 году.

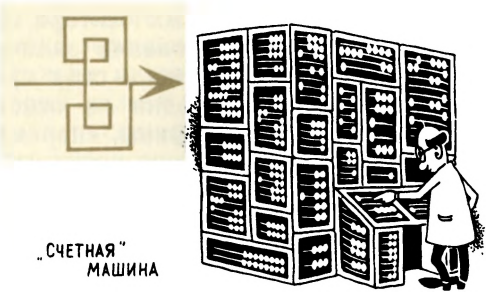
Жизнь движется вперед, и мы стали свидетелями создания «БЭСМ-6». Это машина-гигант. Гигант не по размерам, а по мощности. Хотя она в несколько раз меньше своей «прабабушки» — «БЭСМ-1», машина совершает миллион операций в секунду! Такой агрегат предназначен для решения широкого круга сложных задач науки, техники, народного хозяйства, требующих очень большого объема вычислений.

В машине учтено все самое новое, чем богата теперь вычислительная техника. Ее конструкторы были удостоены в 1969 году Государственной премии. В «БЭСМ-6» использовано совмещенное выполнение операций — машина одновременно может решать несколько задач. Она может воспринимать их условия и с перфокарт, и с перфолент, и с магнитных барабанов и лент, и даже с телеграфной линии. Сверхбыстродействующее запоминающее устройство значительно повышает и без того высокую производительность машин. На ней могут работать несколько операторов с нескольких пультов управления и даже вне машинного зала.

●

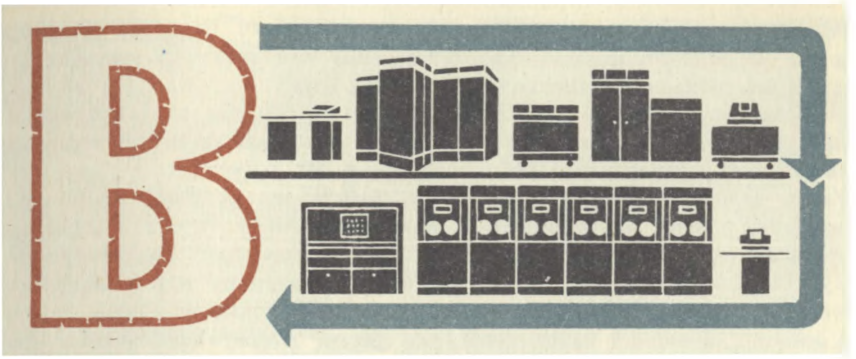
Один из флагманов советской вычислительной электроники уже стал на вахту во главе электронных машин мощного вычислительного комплекса в Дубне, под Москвой, в Объединенном институте ядерных исследований. «БЭСМ-6» используют при решении сложнейших математических задач современной физики, когда необходима скоростная обработка материалов многочисленных экспериментов.

Как видите, много отличных электронных машин для вычислений создано в нашей стране. Темпы их производства таковы, что специалисты с полной уверенностью заявляют: «В ближайшее время мы выйдем на одно из первых мест в мире».



„СЧЕТНАЯ" МАШИНА

В



ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР

Предприятие, оснащенное электронными вычислительными машинами. Предназначено для выполнения сложных и трудоемких вычислительных работ.

ФАБРИКА ЧИСЕЛ

Это предприятие совершенно нового типа. Фабрика, которая получает и перерабатывает совершенно необычное, с обычной точки зрения, сырье и дает совершенно необычную, с обычной точки зрения, продукцию — числа. Поэтому вычислительный центр так и называют — фабрика чисел.

Что и как здесь только не считают! И математические задачи, и инженерно-технические, и экономические, и ведут так называемые обычные вычислительные работы, и разработку методов численных решений, и методов программирования, и способов математической и технической эксплуатации электронных машин, и обработку переписей, и начисление заработной платы, и многое, многое другое. Все зависит от того, какого типа вычислительный центр.

Давайте зайдем сюда, в ВЦ, как его кратко называют.

Без сопровождающего нам не разобраться во множестве машин, отделов и служб. И мы попросим специалиста из сектора математической подготовки рассказать нам, как работает ВЦ.

В вычислительном центре три основных сектора. Вот первый — математической подготовки и программирования задач. Здесь работают программисты. Они составляют программы — свод правил, по которым машины решают разные задачи. Это один из основных отделов, от него зависит, по какому пути пойдут машины, «перемалывающие» горы чисел, и что из этого получится.

Чтобы «математические жернова» работали исправно, существует другая служба — сектор технической эксплуатации. Высококвалифицированные инженеры следят за работой машин, за их состоянием и своевременным ремонтом.

Электронно-вычислительные машины — не простые агрегаты. Они потребляют много электроэнергии, нагреваются. Помещение, где они установлены, требует вентиляции. Поэтому нужен сектор вспомогательного оборудования, специалисты которого следят за электрооборудованием и вентиляцией.

— Давайте посчитаем что-нибудь, — обращается к нам сопровождающий.

Он подходит к пульту и на клавишах, как у пишущей машинки, выстукивает: «29 января 1970 года экскурсия учеников шестого класса 341-й школы Бауманского района Москвы».

Мы долго не можем договориться, какую же задачу решить. А в это время на карточках пробиваются какие-то отверстия, и нам говорят: это очередная плановая задача. Как она решается, мы узнаем, когда пройдем по цехам «фабрики счета».

Сначала попадаем в отдел клавишных счетных машин. Он напоминает большое машинописное бюро. На специальных столиках — автоматические арифмометры. Внешне они похожи на пишущие машинки. По разноцветным клавишам проворно бегают пальцы оператора. Он набирает числа — слагаемые и сомножители, делимое и делитель. Нажимая на ту или иную клавишу управления, оператор заставляет машину автоматически производить арифметическую операцию. Короткий шум электродвигателя, легкий треск зубчатых колес — и вот уже результат на счетчике арифмометра. Оператор переносит результат на бланк. И снова его пальцы на клавишах машины.

Нам объясняют: нелегко провести подготовку вычислительных работ. Бывают очень сложные. Вот, например, сколько всяких факторов надо учитывать, чтобы создать космическую ракету. Ею надо управлять с Земли. На ракете стоят жидкостные ракетные двигатели, дающие возможность подняться на большую высоту. Внутри ее корпуса размещены сложнейшие устройства, аппаратура систем управления, баки с горючим и окислителем.

Прежде чем приступить к проектированию всего этого, нужно сделать много расчетов. Нужно учесть, что такая ракета запускается вертикально и в начале пути, в течение первого времени полета, она преодолевает наиболее плотные слои атмосферы. Основная же часть траектории полета ракеты проходит в безвоздушном пространстве. Воздушная оболочка Земли резко тормозит движение ракеты. В результате трения о воздух корпус сильно нагревается. Все это тоже нужно учитывать.

Расчеты траекторий нельзя производить по простым уравнениям, не принимая во внимание сказанное, иначе может возникнуть ситуация, в которой оказались герои романа Жюля Верна, не попавшие на Луну.

Конечно, в нашем присутствии не делали таких расчетов. Перед нами была лишь работа вспомогательного характера — проверка этапов работы, точности вычислений. Математики как бы прослеживают длинный путь от уравнений и формул до таблиц и чисел. А уж само поточ-

ное производство всей гигантской массы пойдет на мощных электронных машинах.

Они стоят в главном цехе вычислительного центра. Немного даже удивляешься, что такая большая по объему работа идет так тихо и незаметно. Только легкий гул машины да постукивание печатающего устройства, выкладывающего длинные бумажные ленты с колонками цифр, говорят о том, что «математическая мельница» трудится неустанно.

Вычислительный центр может быть соединен специальными каналами связи с предприятиями, которые он обслуживает: заводами и фабриками, институтами и учреждениями. Это более экономично и выгодно. Создается непрерывность в работе, стандартизация в обслуживании.

Один вычислительный центр может заменить армию вычислителей в несколько десятков тысяч человек. Только рабочее место для них заняло бы десяток-другой многоэтажных зданий.

Много миллионов рублей экономии дает вычисление на машинах. Даже малая машина, например «Минск-22», дает за год 50 тысяч рублей прибыли. Расчет, который требовал, допустим, года труда вычислителей, раньше для многих конструкторских бюро считался неприемлемым. А теперь? А теперь считают простой задачу, требующую ста лет работы вычислителей. Для обыкновенного ВЦ это лишь сутки работы.

Сутки вместо ста лет! Такое сокращение времени на вычислительные работы открыло большие возможности в науке, технике, управлении народным хозяйством.

Вот, оказывается, какие великие дела творят вычислительные машины, собранные под одной крышей здания, на вывеске которого стоят две буквы — ВЦ.

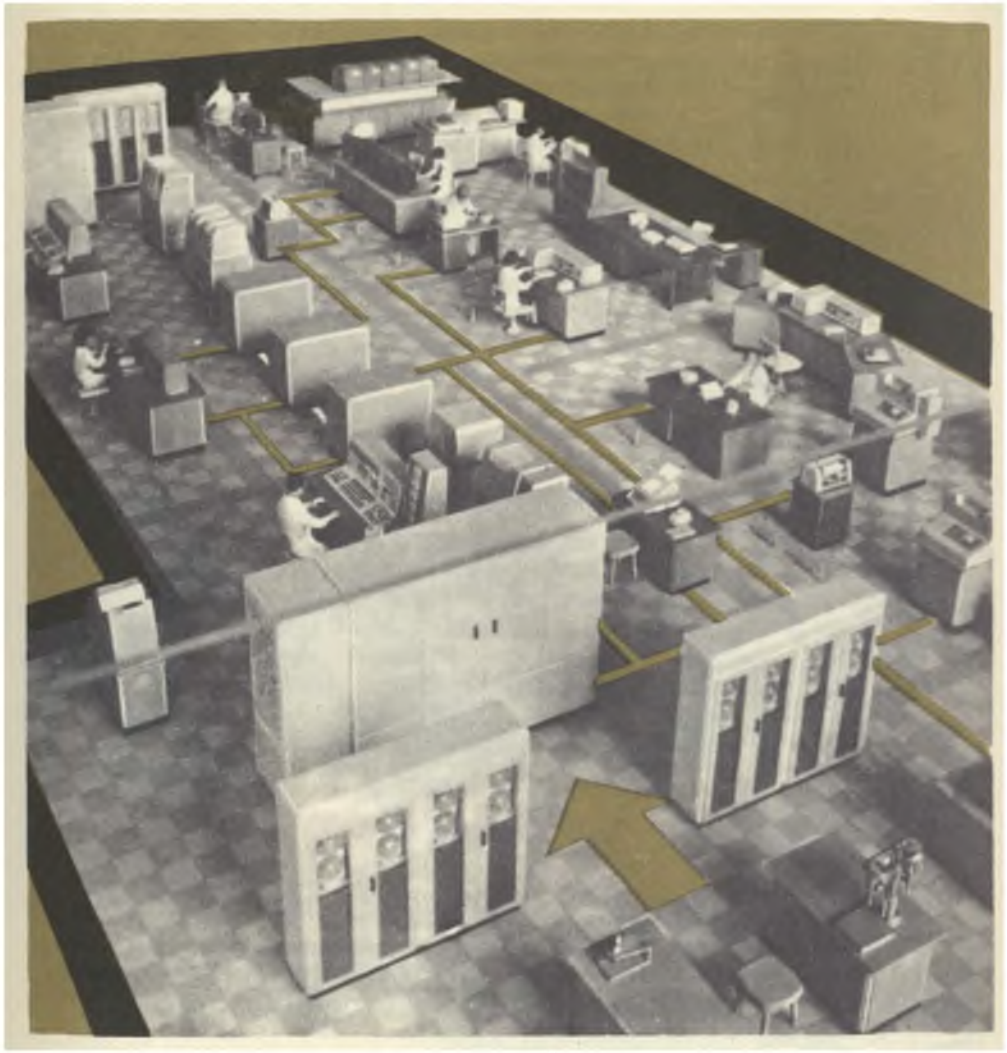
ПЕРЕД ВАМИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР ПЕРВОГО КЛАССА.

Только рабочая площадь его помещений достигает 4000 $м^2$. Здесь работает около 500 человек, из них до 150 высококвалифицированных математиков.

В центре — несколько больших электронных цифровых машин. Одна из них работает со скоростью до миллиона операций в секунду. Несколько комплектов автоматических — более простых — вычислительных машин и до 100 настольных клавишных вычислительных машин.

Не все вычислительные центры такие исполины. Бывают и меньше: одна электронная вычислительная машина, одна автоматическая машина и несколько настольных клавишных машин.

ВЦ работает в три смены, как большой завод. Вычислительные машины дорогие. Невыгодно, когда простаивает такое ценное оборудование. Один раз в неделю «фабрика чисел» затихает: не стучат печатающие устройства, не слышно монотонного гула машин. Специалисты-техники проводят проверку, наладку и профилактический ре-



Вычислительный центр.

монт — машины всегда должны быть исправны. Малейшая нечеткость, и на лентах, где напечатаны результаты вычислений, полно ошибок. Математические машины любят точность.

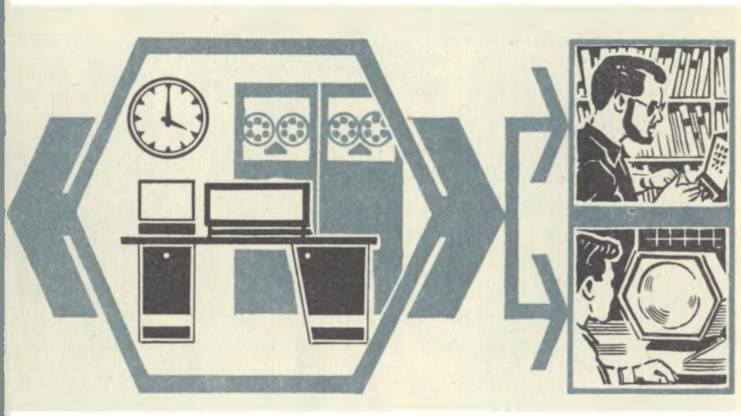
У нас в стране имеются сотни вычислительных центров. Среди них есть так называемые головные. Например, Вычислительный центр Академии наук СССР, Главный вычислительный центр Госплана СССР. Вычислительные центры работают в



Академиях наук Украины, Белоруссии, Грузии и других союзных республик, во многих крупных городах. Сегодня мощные фабрики для переработки чисел не редкость.

Вычислительные центры бывают разного назначения: ВЦ общего назначения, ВЦ плановых расчетов и экономических исследований, ВЦ отраслевого назначения.

Вы видели на рисунке вычислительный центр общего назначения. Специальные ВЦ несколько отличаются от него. В них может быть меньше машин меньшей мощности. В отраслевом или специализированном вычислительном центре не занимаются научно-исследовательской работой общего характера по основным проблемам вычислительной математики, не разрабатывают общих методов решения задач научного



Использование вычислительных машин в режиме разделенного времени, когда одна машина обслуживает многих абонентов. При этом возможен даже «диалог» между абонентом и машиной. Такую возможность — обмена информацией — имеют и несколько абонентов. Мало того, можно подключать десятки абонентов даже на далеких расстояниях.

Здесь показано несколько видов подобного рода подключений: ученого на квартире, инженера в конструкторском бюро, исследователя в лаборатории, научного сотрудника в институте, секретаря, готовящего материалы для печати, математика, редактора газеты, историка, физика.

Автоматическое распределение машинного времени дает гораздо больший эффект, чем обычное использование ЭВМ, экономит средства и время.

характера. Здесь ведут конкретные расчеты по планированию народного хозяйства, по экономике. Здесь много учетно-статистической работы и расчетов для административно-управленческого труда.

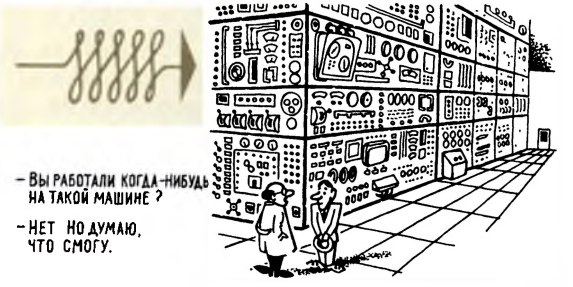
В последнее время возникло новое направление в использовании электронно-вычислительных машин и вычислительных центров. Появилась тенденция к их «коллективизации», к их объединению в вычислительные системы коллективного пользования. Это будут постоянно действующие системы, к которым смогут обращаться несколько абонентов в любое время за любой справкой, за любым расчетом, потому что работать они станут в так называемом режиме разделенного времени.

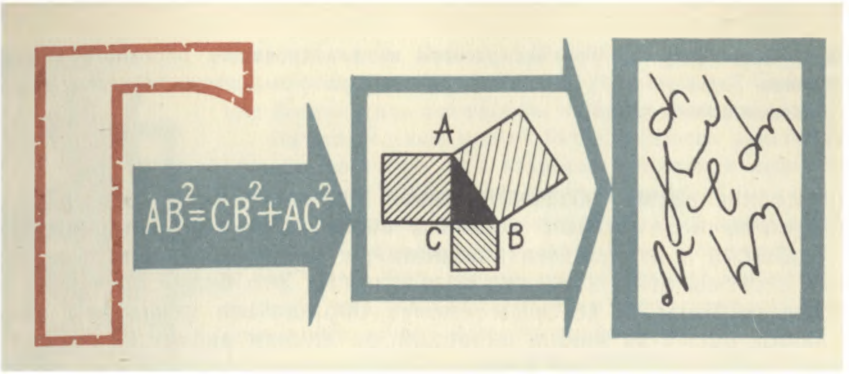
Это уже ВЦ коммунального назначения. Ими можно пользоваться так же, как мы пользуемся водой, газом, электричеством, телефоном.

Благодаря тому, что у машин появятся универсальные входные и выходные устройства, умеющие считывать обычные шрифты, печатные сообщения, выдавать визуальные данные, записывать устные сообщения и принимать устные команды, связь с ними будет осуществляться с помощью телефона или телевизионной установки.

Другими словами, доступ к электронно-вычислительным машинам, к их гигантским хранилищам «памяти», к центрам информации и вычислений будет свободным, без посредников, вне зависимости от времени и расстояния.

В недалеком будущем трудно будет найти «индивидуальные» машины (для одного предприятия), как сейчас трудно найти предприятие, имеющее собственную электростанцию. Гораздо удобнее и экономичнее пользоваться энергией от одной энергетической системы страны.





ГРУППА КОДОВАЯ

Группа кодовая — набор символов для отображения частей сообщения, передаваемого по каналам связи.

«В КАЖДОЙ СТРОЧКЕ ТОЛЬКО ТОЧКИ...»

Есть такая игра «Горячо — холодно». В ней весь разговор, все «команды» передаются только двумя символами. Удаляешься от предмета поиска — «холодно», приближаешься — «горячо». В результате подачи условных знаков играющий иногда решает довольно сложные задачи поиска.

А нельзя ли двумя символами кодировать и текст?

Вот ряд условных знаков: только точки и тире. Что они означают?

. . — . . . — . . . — . — — . — . — — — — .

Если вы знаете азбуку Морзе, то прочтете слово «электрон». Значит, различные комбинации двух знаков позволили закодировать весь алфавит.

Когда вы внимательно рассматривали азбуку Морзе, то, вероятно, заметили, что некоторые буквы передаются одним-двумя знаками: Е — точка, Т — тире, А — точка, тире, И — две точки, и т. д. Другие же — четырьмя или даже пятью: Ж — три точки, тире, Х — четыре точки, Ч — три тире, точка, Э — две точки, тире, две точки.

Попробуем определить, из скольких знаков должна состоять кодовая группа, чтобы можно было записать все буквы одинаковым количеством нулей и единиц.

Вначале возьмем только два знака — 0 и 1. Получим:

А = 00
Б = 01
В = 10
Г = 11

На этом наши возможности оказались исчерпанными. Ничего не поделаешь: $2^2 = 4$.

Попробуем теперь взять три знака:

А = 000	Д = 100
Б = 001	Е = 101
В = 010	Ж = 110
Г = 011	З = 111

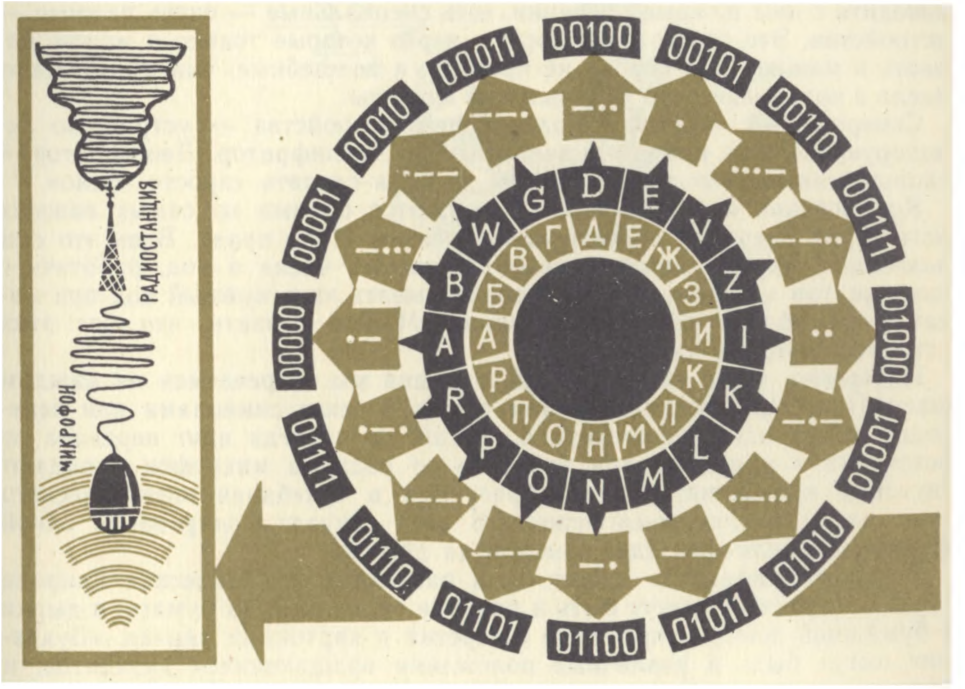
И снова предел: $2^3=8$.

Если мы опять прибавим один знак, то получим $2^4=16$. 16 комбинаций хватит только на половину нашего алфавита.

При пяти знаках: $2^5=32$ — мы достигаем наконец нужного нам числа комбинаций.

Вот один из примеров такого кода:

А=00000	Ж=00110	О=01101	Х=10100	Ю=11010
Б=00001	З=00111	П=01110	Ц=10101	Я=11011
В=00010	И=01000	Р=01111	Ч=10110	Й=11100
Г=00011	К=01001	С=10000	Ш=10111	Ь=11101
Д=00100	Л=01010	Т=10001	Щ=11000	Ъ=11110
Е=00101	М=01011	У=10010	Ы=11001	Э=11111
	Н=01100	Ф=10011		



Посмотрите, как можно одну и ту же букву закодировать разными символами.

Теперь подсчитаем, из скольких знаков должна состоять кодовая группа, чтобы все цифры от 0 до 9 записывать тоже одинаковым количеством нулей и единиц. И здесь, оказывается, двух и трех знаков мало. А вот четырех достаточно, они дают 16 комбинаций, а нам нужно всего 10.

Вот как будут выглядеть цифры в закодированном виде:

0=0000	5=0101
1=0001	6=0110
2=0010	7=0111
3=0011	8=1000
4=0100	9=1001

Не думайте, что эти коды цифр и букв единственные. Их может быть очень много — миллиарды.

Воспользуемся нашим кодом и закодируем слово «кибернетика» и число «13».

Вот слово «кибернетика», скрытое под комбинациями нулей и единиц: 01001 01000 0001 00101 01111 01100 00101 10001 01000 01001 00000.

Число «13» запишется как 0001 0011.

Для того чтобы сообщение попало в машину, чтобы она могла производить с ним нужные операции, есть специальные — очень важные — устройства. Это своего рода ворота, через которые только и можно попасть в машину. Но ворота не простые, а волшебные: они превращают число в код, делают его удобным для машины.

Совершенный «антипод» кодирующего устройства — устройство декодирующее, или, как его иначе называют, дешифратор. Дешифратор — «волшебник наоборот»; его задача из кода сделать «просто число».

Кодирование и декодирование считаются одними из самых важных логических операций «электронного мозга». И по праву. Ведь это они позволяют машине «уметь» преобразовывать числа в код, работать с ними внутри машины, снова преобразовывать их в нужный код при выдаче уже обработанной информации. Можно сказать, что без этих устройств машина как без рук.

Интересно, что с кодированием в жизни мы встречаемся на каждом шагу. Не только когда заменяем обычный текст символами или переводим знаки одного алфавита в другой, но и когда идет передача от источника к адресату: при передаче по радио в микрофон попадают звуковые колебания, они преобразуются в колебания электрического тока, затем в электромагнитные. В этих случаях кодирование одной физической величины идет заменой на другую.

В таком «алфавите» может быть различной и физическая природа «букв». «Буквами» могут быть и пометки чернилами на бумаге, и дырки в бумажной ленте, и пробитые отверстия в картонных картах. «Буквами» могут быть и различные положения вращающихся элементов, и электрические импульсы, и световые сигналы.

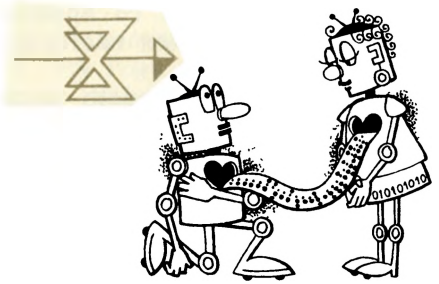
На принципе перекодировки основана работа телетайпов — аппаратов, которые без всякого участия человека превращают обычный текст в присвоенные каждой букве комбинации электрических сигналов, а комбинации электрических сигналов — обратно в буквы.

Набирая тот или иной номер телефона вращением диска на аппарате, вы, вероятно, не подозреваете, что занимаетесь перекодировкой десятичного кода в серию электрических импульсов, которые для наглядности опять-таки можно записать с помощью 0 (нет импульса) и 1 (есть импульс).

Смотрите, как это выглядит:

220—65—99

```
      2        2        0        6        5        9        9
000000011          000000000          000011111          111111111
          000000011          000111111          111111111
```





ДВОИЧНАЯ СИСТЕМА СЧИСЛЕНИЯ

Позиционная система счисления, основанием которой служит число 2.

ВСЕ ИЗ 0 И 1

Когда человек научился считать, то он стал считать на пальцах, загибая их по одному. Этот счет (его со временем стали называть десятичной системой счисления) оказался настолько удобным, что живет до сих пор.

Всем нам эта система знакома с первого класса. Мы знаем ряд чисел от 0 до 9. Знаем, что разряды отличаются один от другого десятичным основанием. Эта система кажется нам и самой простой, и самой удобной.

Так считал и знаменитый французский ученый Блез Паскаль, создавший первую вычислительную машину. Свое механическое счетное колесо он сделал десятичным: в нем было десять зубьев. С тех пор в десятичной системе счет можно было осуществить не только вручную с помощью 10 пальцев, но и механически — с помощью 10 зубьев колеса.

Затем та же десятичная система «перекочевала» и в электромеханические счетные машины. В них был применен шаговый искатель с 10 позициями.

И первые электронные вычислительные машины пользовались все теми же десятью «пальцами» — десятью триггерами. На десятичной системе счисления работала, например, американская машина «ЭНИАК». Но для нее требовалось столько дорогого оборудования, что конструкторы стали искать способы сократить число триггеров.

В основу своих поисков инженеры и математики положили двоичную — двухпозиционную — природу элементов, «органов» вычислительной техники.

Возьмите, к примеру, электронную лампу. Она может находиться только в двух состояниях: или проводит электрический ток — «откры-

та», или не проводит его — «заперта». А триггер? Он тоже имеет два устойчивых состояния. Двоичны и запоминающие элементы.

Почему же не использовать тогда двоичную систему счисления? Ведь в ней только две цифры: 0 и 1. А это очень удобно для работы на электронной машине.

И новые машины стали считать с помощью 0 и 1.

Не думайте, что двоичная система — современница электронных машин. Нет, она намного старше. Двоичным счислением люди интересуются давно. Особенно сильным это увлечение было с конца XVI до начала XIX века.

Знаменитый Г. В. Лейбниц считал двоичную систему простой, удобной и красивой. Он говорил, что «вычисление с помощью двоек, вознаграждение его длиннот, является для науки основным и порождает новые открытия... При сведении чисел к простейшим началам, каковы 0 и 1, везде появляется чудесный порядок».

По просьбе ученого в честь «диадической системы» — так тогда называли двоичную систему — была выбита медаль. На ней изображалась таблица с числами и простейшие действия с ними. По краю медали вилась лента с надписью: «Чтобы вывести из ничтожества все, достаточно единицы».

А потом как-то сразу о двоичной системе замолчали, забыли. В течение почти 200 лет на эту тему не было издано ни одного труда. Вернулись к ней только в 1931 году, когда были продемонстрированы некоторые возможности практического применения двоичного счисления.

Эта система, как и десятичная, подчинена строгим законам. Но в десятичной за основание берется 10, а в двоичной — 2. В десятичной системе в каждом разряде — одна из десяти различных цифр, в двоичной — только две. В десятичной системе каждый разряд в 10 раз больше предыдущего, в двоичной — в 2 раза.

Посмотрите, как курьезно выглядят привычные нам числа, записанные в двоичной системе:

«Еще в младших классах он проявлял себя весьма смышленым мальчиком. С задачами, которые сверстники решали полчаса, он справлялся за какие-то 101—110 (5—6) минут. Одаренный недюжинным умом и неиссякаемой энергией, этот счастливец закончил вуз на год раньше срока, за 11 лет (3 года), и в возрасте 1 010 000 лет (20) возглавил научно-исследовательскую лабораторию».

А ТЕПЕРЬ ПОПРОБУЕМ РАЗОБРАТЬСЯ В ДВОИЧНОЙ ЗАПИСИ.

На стр. 83 таблица отчетливо показывает, что чем меньше знаков-цифр в одном разряде для записи в двоичной системе, тем больше надо разрядов, чтобы представить данное число. Возьмем, например, из таблицы число 8. В двоичной системе для его представления понадобятся четыре разряда: 1000.

Теперь возьмем другую запись в двоичной системе — 1111. Самая правая, послед-

няя цифра так и будет единицей. Но уже следующая — высшего разряда — больше ее только в два раза и означает 2, третья опять в два раза больше — 4, четвертая, соответственно, — 8.

Попробуем записать какое-нибудь число, допустим 1017, в двоичной системе. Для этого, как и в десятичной системе, разлагаем его на разряды, но разряды здесь выглядят по-иному. Начнем с низшего, с 7. В числе 7 одна четверка, одна двойка, одна единица: $7 = 4+2+1$. Эту запись можно сделать по-другому: $1 \cdot 2^2+1 \cdot 2^1+1 \cdot 2^0$. Следовательно, в каждом из этих разрядов ставим по 1—111.

Затем идет число 10. Оно состоит из одной восьмерки и одной двойки: $10=8+2=1 \cdot 2^3+1 \cdot 2^2+1 \cdot 2^1+2^0$. Заметили, здесь нет единиц и четверок, поэтому вместо них мы ставим нули и записываем число так: 1010.

Так же можно разложить и все следующие разряды. А все число 1017 запишется как $512+256+128+64+32+16+8+1=1 \cdot 2^9+1 \cdot 2^8+1 \cdot 2^7+1 \cdot 2^6+1 \cdot 2^5+1 \cdot 2^4+1 \cdot 2^3+0 \cdot 2^2+0 \cdot 2^1+1 \cdot 2^0$. Записываем по разрядам и получаем 1111111001.

Конечно, вы хотите знать, как производят действия с такими «громоздкими» числами.

Оказывается, по правилам, похожим на применяемые в десятичной системе. Правда, со своими особенностями.

Вот как читается правило счета в двоичном счислении:

«Поскольку имеются лишь две цифры, правило переноса формулируется так: когда в какой-либо разряд, в котором стоит 1 (самая старшая цифра), добавляется еще одна 1, этот разряд возвышается в 0 и посылает единицу переноса в следующий, старший разряд. При непрерывном добавлении единиц в данный разряд его показания все время меняются на обратные: если в этом разряде стоял 0, он заменяется на 1, а если стояла 1, она заменяется на 0 и при этом выдается единица переноса».

Давайте, руководствуясь этими правилами, сложим самые простые числа: 1+1.

Записываем:

$$\begin{array}{r} 0001 \\ +\ 0001 \\ \hline 0010 \end{array}$$

Сложим теперь 8+3.

Запись будет выглядеть так:

$$\begin{array}{r} 1000 \\ +\ 0011 \\ \hline 1011 \end{array}$$

Для основных арифметических действий в двоичной системе составлены таблицы:

Таблица сложения	Таблица умножения
0+0= 0	0·0=0
0+1= 1	0·1=0
1+0= 1	1·0=0
1+1=10	1·1=1

Математики утверждают, что арифметические действия в двоичной системе проще, чем в десятичной. В двоичной системе проще даже извлечение корней. Вероятно,



Сравнение записи чисел в единичной, двоичной и десятиричной системах.

и вам трудно будет с ними не согласиться, если вы немного потренируетесь в двоичной арифметике. Только надо знать, что вычитание здесь заменяется сложением. Делается это так: вместо вычитания данного числа к уменьшаемому прибавляют число, являющееся дополнением к вычитаемому, то есть дополняющим его до следующей высшей разрядной единицы.

Допустим, из числа 10011 нужно вычесть 101. Сначала уравняем количество разрядов у чисел, приписав к вычитаемому спереди два нуля — 00101. Дополнением к вычитаемому (до 100000) будет 11011.

Прибавим это число к уменьшаемому:

$$\begin{array}{r} 10011 \\ +\ 11011 \\ \hline 101110 \end{array}$$

Единицу слева отбросим — получим 01110. Действительно, 19—5=14.

Умножение же сводится к переписыванию множимого с соответствующими сдвигами и сложению. Например:

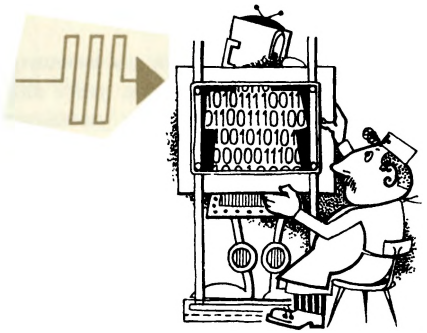
$$\begin{array}{r} \times\ 11011 \\ \quad\ 1101 \\ \hline \quad 11011 \\ \ \ 11011 \\ 11011 \\ \hline 101011111 \end{array}$$

Деление тоже сводится к последовательному вычитанию, а оно, в свою очередь, заменяется сложением.

Как видите, все многообразие математических операций сводится к одному простому арифметическому действию — сложению.

●

Итак, все преимущества двоичной системы, столь непривычные нам из-за традиции оперировать всегда и везде системой десятиричной, мы знаем. Осталось назвать ее недостаток: двоичной системой пользуются только вычислительные машины, только они в ней безпраничные хозяева. Правда, им не страшны длинные, однообразно-унылые ряды нулей и единиц, которые подчинены монотонным правилам двоичной арифметики. Машина пересчитывает вереницы нулей и единиц с очень большой скоростью. Так что с этим недостатком двоичной системы, оказывается, совсем не трудно мириться.





ДОКУМЕНТАЛИСТИКА

Научная дисциплина, занимающаяся вопросами автоматизации процесса накопления, хранения и поиска информации.

КАК НАЙТИ ИГОЛКУ В СТОГЕ СЕНА?

Термин «документалистика» появился совсем недавно в связи с внедрением идей и методов кибернетики в документационную практику.

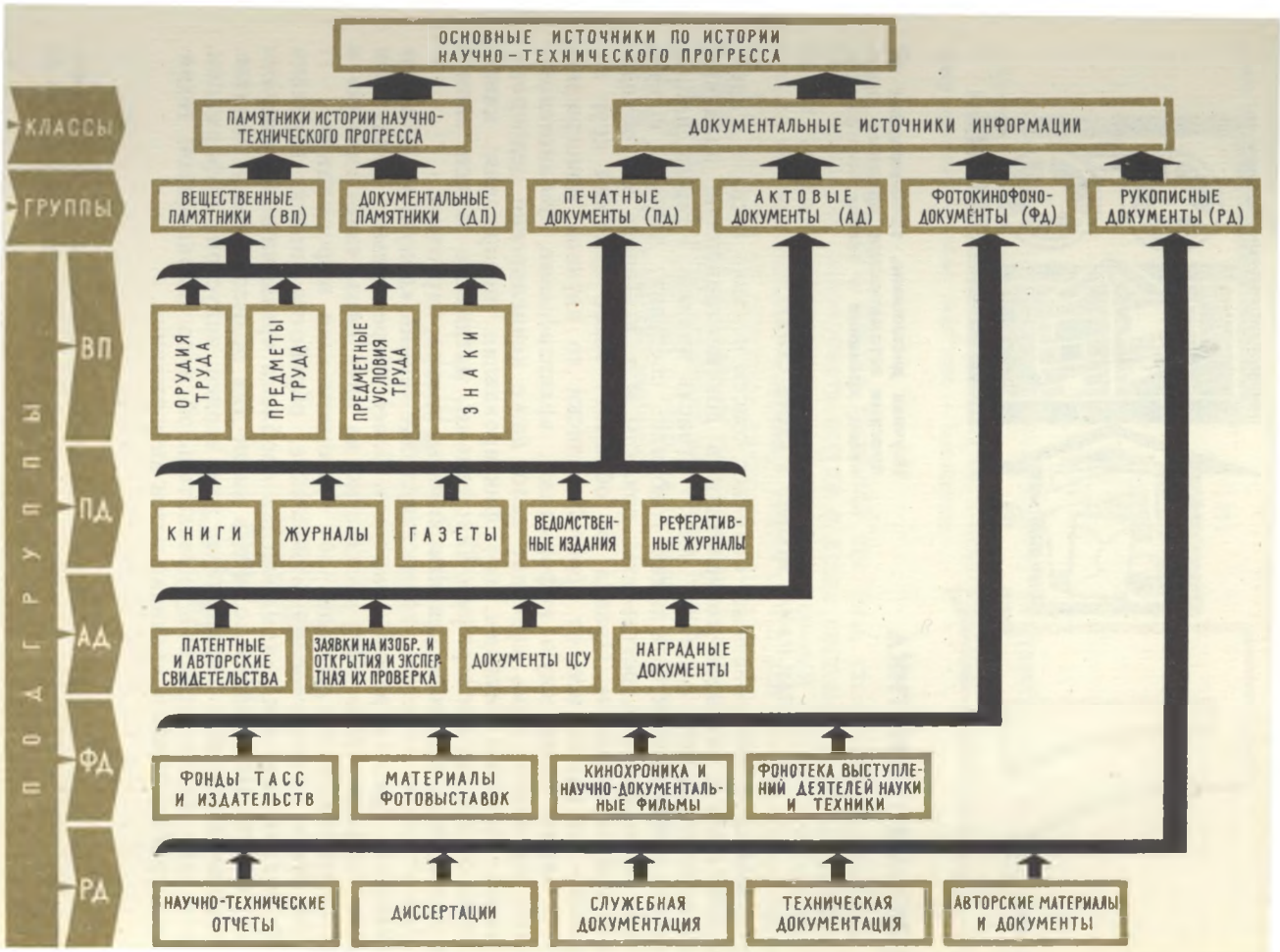
Документалистика означает новую отрасль знания. Раньше, например, о различных публикациях говорили: сведения, данные, факты, известия, сообщения, результаты, доклады и т. д. Теперь это объединено одним термином. Правда, он обнимает более широкий круг вопросов — не только все, от простой записки до научной монографии, но и научно-техническую информацию, архивоведение, библиотековедение, патентное дело, музейное дело, даже канцелярское делопроизводство. Другими словами, вся фиксированная информация: книги, газеты, журналы, фотографии, кинофильмы, магнитные записи, записи на пластинках, каталоги, реклама, отчеты, письма, картотеки.

Здесь следует заметить, что не успел еще термин «документалистика» привиться, как его решили заменить более современным. Придумали слово «информатика». Оно составлено из двух слов, «информация» и «автоматика», и как бы означает «автоматизация информации».

Не такое простое дело — накопление, обработка, поиск, передача информации. Это целая комплексная проблема чрезвычайной важности и трудности. Неудивительно, что в наши дни родилось такое понятие, как промышленность информации, или, вернее, индустрия информации, основанная на электронной вычислительной и организационной технике, перерабатывающей «великий поток информации».

●

СМОТРИТЕ, ЧТО ПРОИСХОДИТ. За 40 лет Всесоюзная книжная палата зарегистрировала свыше 22 миллионов всех видов советской печати — почти по одному на каждый десяток жителей, включая грудных младенцев.



Классификация источников по истории научно-технического прогресса.

Бумажный поток буквально вышел из берегов. Ежегодный объем печатной продукции составляет приблизительно 7 миллиардов страниц, из которых примерно десятая часть отведена научной информации.

Если в 1800 году насчитывалось 100 научных журналов, то в 1950 году — почти 100 тысяч. Теперь же их свыше 200 тысяч.

Вот что сегодня происходит с такой наукой, как химия. Каждый день к 6 с лишним тысячам уже существующих журналов по химии прибавляется 1—2 новых. За 20 лет — с 1926 по 1946 год — работ, посвященных одному только цинку, появилось втрое больше, чем за 200 лет до этого.

Химик, свободно владеющий 30 языками (условие невероятное) и «глотающий» по 20 статей в сутки без выходных дней и отпусков, не в состоянии ознакомиться и с десятой долей того, что в периодической печати относится к его проблематике. А ведь «проглотить» мало, надо еще и «переварить» прочитанное.

Едва ли лучше положение в математике, физике, биологии, на других важнейших направлениях научного прогресса. Специалисты подсчитали, что в ближайшем будущем электронные машины будут обрабатывать такой объем различной информации, что на каждого человека только в Европе, включая и детей, придется для прочтения по 7 тысяч страниц в месяц.

Что касается художественной литературы, то здесь некоторые думают найти выход с помощью американской практики: романы Толстого, Стендаля, Диккенса втискиваются в 20—30 страниц сокращенных изданий, называемых дайджестами. Такая книжечка свободно умещается в кармане, ее можно прочитать в два присеста — между делом. Казалось бы, удобно, но...

Вот что говорит писатель Стефан Цвейг: «Попробуйте прочитать один из романов Достоевского в сокращенном французском издании. Как будто все есть: фильм событий развертывается быстрее, фигуры кажутся более подвижными, законченными, страстными. Но все-таки они чем-то обеднены: их душе не хватает особого блеска, отливающего всеми цветами радуги, атмосферы сверкающего электричества, тяжести напряжения, которую только разряд делает такой страшной и такой благотворной. Что-то безвозвратно разрушено, уничтожен магический круг. И в этих опытах сокращения познаешь смысл шири Достоевского, целесообразность его кажущейся растянутости...»

Думается, лучше прочесть в оригинале или хорошем переводе тысячу романов, чем получить искаженное представление о 100 тысячах. Зато в научной и научно-технической информации конденсирование публикаций просто необходимо. Наиболее распространенная форма таких «экстрактов» — рефераты.

У нас в стране в 1952 году при Академии наук был создан Институт научной информации. Теперь он вырос в гигантскую «обогатительную фабрику» научной и технической литературы.

Специалистов научно-информационных органов можно сравнить с геологами-разведчиками: поиск, а работников института — с инженерами-обогатителями: концентрация, конденсирование информации.

Д

Еще в 1953 году во Всесоюзном институте научной и технической информации был создан «Реферативный журнал». Кратко излагая содержание статей из 100 стран мира по главным отраслям знаний (математика, физика, химия и т. д.), он существенно облегчает работу не только советских, но и иностранных ученых. Сюда поступают издания 450 зарубежных академий, научных ассоциаций, обществ. Сюда шлют пакеты библиотеки Британского музея, Конгресса США, Сорбонны и еще добрых два десятка крупнейших книгохранилищ мира. Институт получает книги и журналы всех научных и технических издательств СССР. За год здесь обрабатывается около 100 тысяч источников информации на 65 языках. Общее количество материалов, сконденсированных здесь за 1960 год, например, в рефераты, аннотации, библиографические описания, достигло 700 тысяч.

Институт обслуживают свыше тысячи сотрудников штатных и более 20 тысяч внештатных. Естественно, что референты должны не просто владеть языком, но и быть специалистами в определенной области знания.

Казалось бы, при такой всеохватывающей инспекции, при столь высокой квалификации переводчиков ни одно сколько-нибудь важное открытие или изобретение не ускользает из сетей, расставленных ловцами информации. Но, увы, это не так.

В 1953 году в американской печати появилось описание интересной технической новинки — съемных протекторов для автомобильных шин. Лишь в 1959 году советские специалисты выловили это сообщение в море информации. Буквально через две недели Ярославский завод приступил к выпуску таких же протекторов — настолько просто было внедрить изобретение! Оно принесло ощутимый экономический эффект. Но во сколько обошлась шестилетняя задержка!

Впрочем, в таком положении не раз оказывались и сами американцы, располагающие, как известно, хорошо поставленной службой научно-технической информации. Вот факты, почерпнутые из прессы США: некая фирма затратила 5 лет и 200 тысяч долларов на создание специального устройства, а потом обнаружила, что оно уже сделано в СССР. Сообщение о нем было опубликовано еще до того, как фирма принялась за разработку решенной проблемы. О новых советских турбобурах промышленность США узнала лишь через 6—7 лет после того, как о них рассказала советская печать.

И это не вина, а беда современных инженеров и ученых. Их уже не выручают рефераты.

Каким должен быть реферат? Разумеется, не очень пространным — иначе он потеряет право на существование: уж лучше прочитать статью, нежели ее многословное изложение. И в то же время не слишком лаконичным — иначе он не вместит даже те сведения, которые принципиально не поддаются сокращению: формулы, даты, географические названия, имена исследователей. Наконец, в век математической линг-



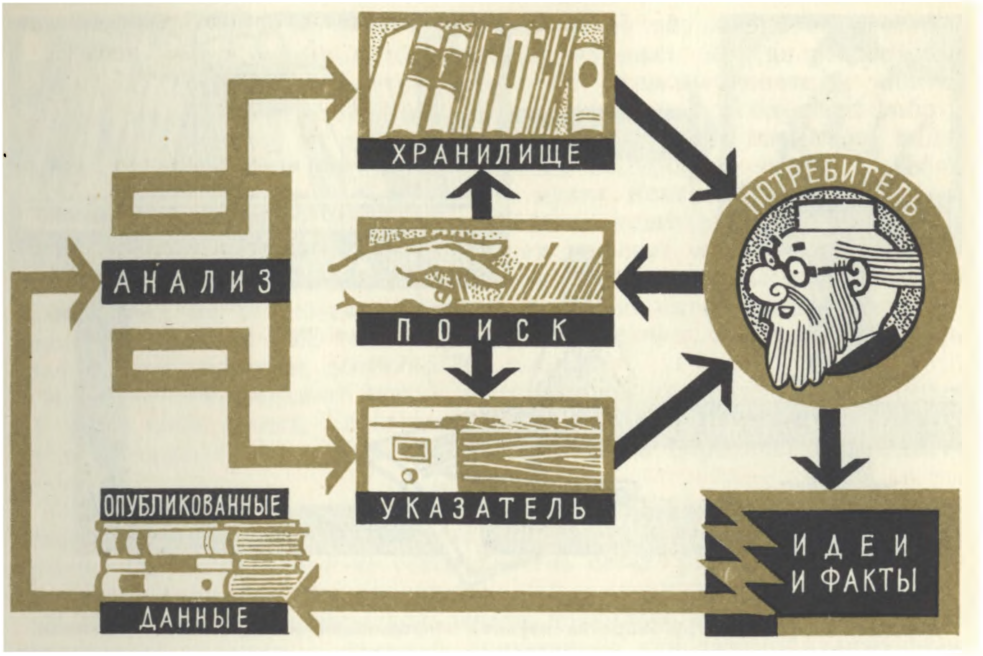
Упрощенная схема «круговорота» научной информации между исследователями.

вистики, бионики, космохимии и иных научных гибридов самому узкому специалисту все труднее жертвовать теми местами статьи, где речь идет о смежных областях. Нередко одна и та же работа представляет интерес сразу для нескольких рефератов — например, по химии, математике и биологии. Из одной статьи получается три реферата! Но рефераты удобны лишь до тех пор, пока их немного. Между тем уже сегодня годовая продукция только советского института — тысяча толстенных томов.

Кстати, в 1965 году во всем мире было 1500 реферативных журналов. Но даже столь многочисленные и объемистые, они просто не в силах охватить непрерывно растущую лавину информации.

Нас часто удивляют и радуют несметные богатства книгохранилищ-миллионеров. Так, Государственная библиотека имени В. И. Ленина располагает 22 миллионами книг, журналов, газет. Общая длина ее полок равна 300 *км* и каждый год увеличивается еще на 15. Но этот капитал зачастую лежит мертвым грузом. Около половины книг, имеющихся в Ленинской библиотеке, никогда не были затребованы читателями. Причина? Та же самая: каталоги и справочники захлебываются в море информации.

Понятно, почему некоторые придерживаются такого правила: если исследование стоит недорого, то в большинстве случаев дешевле зано-



Один из примеров информационно-поисковой системы.

во проделать его, чем искать иголку в стоге сена, выясняя, не проделано ли оно кем-то другим. Потому что, например, «раскопки» бумажных курганов в библиотеках США обходятся в 300 миллионов долларов ежегодно. Подсчитано, что пятая часть ассигнований на научные исследования расходуется во всем мире на сбор и распространение информации. В то же время большинство ученых третью часть своего времени тратит на утомительные поиски уже полученных кем-то результатов.

Мы восхищаемся современной полиграфической техникой, забывая, что она увеличила тиражи, но не ускорила подготовку публикаций. Первый русский типограф Иван Федоров набрал и отпечатал «Евангелие учительное» за 8 месяцев и 9 дней. Спустя 400 лет 11-й том полного собрания сочинений Чарлза Диккенса, не нуждавшийся в правке, находился в производстве 8 месяцев и 20 дней, а 30-й — более года. Путь от автора к читателю для статей, публиковавшихся в «Журнале русского физико-химического общества» в 1916 году, отнимал два с половиной месяца, а в 1966 году в «Журнале физической химии» — 19 месяцев. И это в условиях, когда темпы науки настолько стремительны, что рукописи могут устареть за несколько месяцев!

Такова проблема обработки информации лишь одного раздела документалистики, значение которой еще в полной мере не осознано. Трудности, возникающие в проблеме документалистики, усугубляются с каждым годом.

Где же выход?

Подлинный переворот в индустрии информации сулят кибернетика и электронно-счетная техника.

Одна из задач — быстро находить и извлекать все интересующие нас сведения по какой-либо теме. Чтобы наиболее рационально организовать и как можно более полно автоматизировать этот процесс, создаются поисково-информационные системы. В настоящее время в них используют микрофильмы, перфокарты, электронно-счетные машины. Такая система, например, была разработана в Москве, в Институте хирургии имени А. А. Вишневского. В Киеве, в клинике грудной хирургии под руководством выдающегося врача, профессора Н. Амосова организован специальный архив, где истории болезней — допустим, порока сердца — наносятся на перфокарты. Собранные сведения предназначены для обработки на счетно-решающей машине. В Институте кибернетики Украинской Академии наук изучаются способы передачи медицинских данных на расстояние в виде чисел и кривых.

Создают и «электронную энциклопедию» для химиков. Проектируется поисково-информационная система по математической теории эксперимента.

Машины должны облегчить труд библиографов. За несколько часов машина составляет предметный указатель к полному (55 томов) Собранию сочинений В. И. Ленина. Такая работа заняла бы несколько месяцев, если не годы, «ручного» труда большого коллектива специалистов.

Важна и проблема автоматизации перевода. Сейчас «ручной» перевод с русского на английский охватывает лишь десятую часть русской научно-технической литературы. Ясно, что даже неотредактированные подстрочники, подготовленные электронным переводчиком, помогли бы в решении проблемы перевода.

Впрочем, если благодаря машине и удастся переводить всю или почти всю печатную продукцию, никакой стоглазый великан Аргус не усмотрит за ней. Поэтому с практической точки зрения целесообразно автоматизировать не только перевод, но и реферирование. Для этого необходимо создать машины, «понимающие» смысл предложения в целом, а не просто подбирающие эквиваленты иноязычных слов. Проблема не из легких, но и она поставлена на повестку дня.

Уже сегодня в библиотеках широко практикуется микрофильмирование: если постранично переснять обычным путем книгу или журнал, то вместо толстого фолианта получается небольшой рулончик пленки. Уже сегодня можно поместить в одном шкафу микробиблиотеку или микроархив объемом миллион страниц. Завтрашняя техника микроко-

пирования позволит упаковать содержание 30 томов Большой советской энциклопедии в объеме блокнота или даже (не исключено!) булавочной головки.

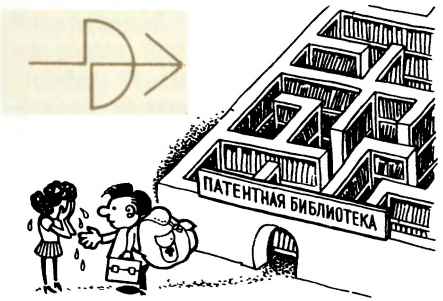
По телефонному заказу автоматы сами найдут нужную информацию и передадут ее в виде изображения на экран вашего домашнего телевизора. Первый такой эксперимент был поставлен советскими учеными в 1957 году. Содержание нескольких печатных страниц, записанное в «памяти» машины, транслировалось через городскую АТС. В пункте приема на телеэкране четко проступали элементы сообщения — строки.

Если прогресс микроминиатюрной радиоэлектроники обещает резко увеличить емкость хранилищ информации, то успехи лазерной техники — пропускную способность каналов передачи информации. Световой диапазон, в котором работает лазерный передатчик, в миллионы раз вместительнее, чем вся волновая шкала любой нынешней радио- или телевизионной станции. Световой луч уже заменяет, правда пока в опытах, телефонные кабели. На Выставке достижений народного хозяйства СССР демонстрируется телеустановка, в которой изображение и звук передаются не ультракороткими волнами, а световым лучом.

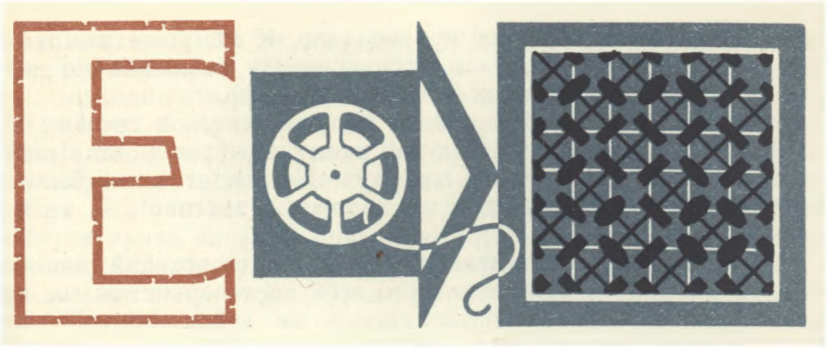
Спутники связи позволят наладить быстрый обмен информацией между библиотеками и издательствами всей планеты.

Не случайно уже сегодня люди, понимающие важность борьбы с лавиной документов, с потоками информации, предсказывают, что скоро «настанет день, и бумагу заменят электронными импульсами, бегущими на необъятные расстояния и легко перерабатываемыми машинами. Информационная служба превратится в грандиозную систему машин, от которой протянутся каналы связи к телефонам, телевизорам, фототелеграфам».

Все эти технические новинки помогут специалисту новой кибернетической формации — документалисту. Ведь он должен быть лоцманом в поистине безбрежном информационном океане. Главная его задача — сократить информацию об информации, помогать ориентироваться в потоках новых сведений, в лавине различных документов.



– НЕ ПЛАЧЬ! ЧЕРЕЗ ГОД ВЕРНУСЬ!



ЕМКОСТЬ «ПАМЯТИ»

Количество информации (чисел и команд), которое может одновременно храниться в запоминающем устройстве.

«СЛЕД НА ВОСКОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ»

Знаменитый древнегреческий философ Сократ сравнивал процесс запечатления идеи с тем, как кольцо с печаткой оставляет свой след на мягкой восковой поверхности. Как глубок бывает этот след? Каковы сила и емкость памяти, много ли она может вобрать в себя? Да и вообще, что такое память?

Удивительные случаи рассказывают о нашей памяти. Вот ее сила. Профессор В. В. Солодовников в одной из лекций привел такой пример. Шесть каменщиков под гипнозом ответили через полгода на вопрос, какую форму имела трещина в шестнадцатом кирпиче в пятом ряду восточной стены дома номер такой-то по улице такой-то. И это через полгода после кладки!

А выдающийся русский ученый академик С. А. Чаплыгин мог безошибочно назвать номер телефона, по которому он звонил всего один раз этак лет пять назад.

Рассказывают, что кассир польского футбольного клуба «Гурник», некий Леопольд Хелд, помнит все результаты и все подробности игр клуба. Однажды во время телевизионной передачи комментатор спросил Хелда: «Чем кончился матч «Гурника» и «Одра» из Ополе четыре года назад?» Ответ последовал моментально: «Мы выиграли 4:0, встреча состоялась 18 августа, было 27 тысяч болельщиков, общая сумма дохода 235 тысяч злотых. Три гола забил Поль и один Цзолтисик...»

И все же столь поражающие примеры памяти — не предел для человека. Известен репортер одной из московских газет Шерешевский, которого специалисты впервые обследовали в 1926 году. У него границы памяти практически отсутствовали. Он запоминал ряды и таблицы из ста и более цифр, огромные комбинации слов неизвестного ему текста на неизвестном языке, даже длиннейшие цепи из двух понятий «крас-

ный» и «синий», чередующихся произвольно. К тому же память этого человека не имела предела и по прочности. Он безошибочно называл через 20 лет однажды услышанную таблицу цифр.

Профессор А. Лурия, наблюдавший Шерешевского в течение 30 лет, рассказывает, как отвечал на вопросы испытуемый: «Он закрывал глаза, медленно водил пальцем по воздуху: «Подождите... вы были в сером костюме... Я сидел напротив вас у стола... вот оно!» И ни единой ошибки!»

Где же находится это потрясающее хранилище сведений, каковы механизмы его работы? К сожалению, со всей достоверностью мы еще не знаем.

Если определить память как свойство мозга хранить информацию, накопленную в прошлом, и предъявлять ее по первому требованию, то невольно в наш век электричества возникает предположение: память — это комплекс импульсов, бегущих по цепи наподобие электрического тока. Но, увы, пока не удалось найти в мозгу «токов памяти».

Естественно, ученым не дает покоя вопрос, каким образом помещается в мозгу фантастическое количество информации, получаемой человеком в течение его жизни. Ученые не переставая бьются над проблемой сотворения памяти.

Считают, что наш мозг состоит примерно из 12—14 миллиардов нейронов. Трудно предположить, чтобы каждый нейрон удерживал только одну единицу информации. Тем более трудно предположить, чтобы эта мельчайшая частица мозга принимала десяток или сотню состояний для записи информации. Даже при этом невозможно представить себе, как помещается в мозгу гигантский запас сведений.

Остается предположить, что воспоминания запечатлеваются на молекулярном уровне, в мозгу работают молекулы памяти. Огромные, очень сложные молекулы, похожие на невероятно длинные веревочные лестницы, у которых поперечины двух разных типов. Чередование таких молекул, подобно точке и тире в азбуке Морзе, представляет собой своеобразный атомно-молекулярный алфавит.

Многое ли можно им записать? Давайте посчитаем. В каждой молекуле 10 000 поперечин. Их два типа. Значит, количество элементарных знаков, если принять во внимание, что хромосомы человеческих клеток состоят приблизительно из 100 000 генов, составит $100\,000 \times 10\,000 =$ 10 миллиардов. А это уже 50 000 страниц Большой энциклопедии.

Но на этом наши подсчеты не кончаются. Если их продолжить, то станет ясно, что при идеальном коде «текст» с двумя знаками наших хромосом соответствовал бы многим сотням тысяч страниц энциклопедии и даже многим миллионам!

А если природа сумела небольшим смещением в молекулах «написать» еще особые знаки? Тогда объем информационной емкости вообще уже не поддается воображению. Вот какой может быть «памятная» запись с помощью атомно-молекулярного алфавита.

Опыты показали, что не все и не всегда человек запоминает надолго. Часто информацию он хранит в голове «до следующего дня». Поэтому можно предположить, что у человека есть память нескольких видов.

Информация, поступая в мозг, создает в нем электрические цепи из нейронов и циркулирует по ним. Это временная память.

Токи нейронных цепей действуют на молекулы нервных клеток. В результате в них синтезируется белок. Если поступит повторный сигнал, белок отреагирует на него, примет информацию в долговременную память — мозг. Не поступил повторный сигнал, цепи распадутся — временная память отключится. Предполагают наличие еще и оперативной памяти. Понаблюдайте за машинисткой. Перепечатывая текст, она удерживает в памяти лишь небольшие отрывки его на очень короткое время — пока они не будут напечатаны.

Люди быстро поняли, что всякое сохранение прошлого в мозгу недолговечно, а феноменальной памятью, к сожалению, обладают лишь исключительные личности. Практически получилось, что для запоминания надо прибегать к помощи искусственных средств, тоже видов памяти, которые усиливают естественную память человеческого мозга.

Самый древний способ — практический — надписи и знаки. Он берет свое начало еще с наскальных изображений. Потом появились иероглифы, потом буквы алфавитов.

Изобретение книгопечатания сделало память человека такой большой, что в нее удалось поместить все науки, все интеллектуальное богатство человечества.

Потом на помощь рисунку пришла фотография, а вслед за ней кинематограф: он сумел запомнить события в развитии, во времени. Научились люди запоминать не только то, что видели, но и то, что слышали; появилась звукозапись — фотографическая и магнитная.

Для фиксации — запоминания — различных команд еще в средние века придумали специальный способ. Пластинки «ощупывались» штифтами на барабанах — звучала музыка курантов, играла музыкальная шкатулка.

Информация запоминалась и отверстиями на перфорированном барабане ткацких станков в середине XVIII века.

Наше время характеризуется большим развитием самых разнообразных средств искусственной памяти. На смену электромеханическим и электронно-ламповым устройствам записи с помощью двух устойчивых состояний (включено — выключено) пришли новейшие средства: на магнитах (размагничено — намагничено), на полупроводниках и многие другие.

ПОСМОТРИМ НА «ПАМЯТЬ» МАШИНЫ.

В ее электронную «память», как на склад, помещают числа и команды. Отсюда — со склада — они поступают для обработки в «математическую мельницу». Получив-

шиеся результаты возвращаются в «память». Здесь должен быть полный порядок, чтобы в любой момент можно было извлечь необходимое число или направить тот или иной результат.

«Память» машины, ее запоминающее устройство, можно сравнить с гардеробом для головных уборов. Здесь их множество. Но каждый головной убор находится в своем отделении. Отделение имеет номер. Предъяви номерок — получи свой (и только свой) головной убор. Отделения гардероба, ячейки, имеют свой адрес — номер. Например, дана команда: +475. Это значит, надо сложить число, которое находится в ячейке 475.

Как и у человека, у машины разные виды «памяти».

Каждый улыбается, вспомнив, как иногда, производя умножение, он вслух произносит: «Семью пять — тридцать пять, пять пишем, три в уме». То же самое приходится делать и вычислительной машине. И она пять «записывает», а три «держит в уме» — запоминает.

Бывает, что адрес или телефон понадобится всего один раз. Тогда его записывают на первом попавшемся листочке бумаги. Позвонили и выбросили. Если адрес или телефон будут нужны еще раз-другой, вероятно, запись перенесут уже в блокнот или записную книжку. Здесь хранятся данные, надобность в которых придет со временем. Это уже «память» длительная, основательная.

Все виды такой «памяти» есть и в машине. Здесь можно найти и «листок бумаги», и «записную книжку» длительной «памяти», и «блокнот».

«Листок бумаги» — это оперативная «память», непосредственно связанная с арифметическими устройствами машины. «Блокнот» — долговременные запоминающие устройства. Они служат для запоминания всей вводимой в машину информации, которая понадобится в процессе решения задачи. «Записная книжка» машины содержит постоянные справочные данные, таблицы, коэффициенты — все, что, подобно таблице умножения, может понадобиться при расчетах. Ее поэтому так и называют — постоянное запоминающее устройство.

Емкость и быстродействие машинной «памяти» зависят от ее конструктивных особенностей. Интересно, что эти две характеристики машинной «памяти» тесно взаимосвязаны. Самая простая «память» — на магнитной ленте. Увеличить ее емкость просто — достаточно увеличить длину ленты. Но время, необходимое для отыскания числа на этой ленте, в свою очередь тоже увеличится. Приходится разматывать десятки и даже сотни метров ленты, чтобы найти нужные сведения.

Поэтому пошли по пути увеличения емкости «памяти» при уменьшении времени выборки данных, или, как это называют, времени обращения.

Бобины с магнитными лентами позволяют получить практически неограниченный объем запоминающего устройства. При плотности записи одно число на 1 *мм* на магнитной ленте длиной 500 *м* можно записать 500 000 чисел, а на сотне таких лент поместится $5 \cdot 10^7$ чисел. Представляете, как это много, если в романе Л. Н. Толстого «Война и мир» всего несколько миллионов знаков. Но при такой записи поиск ячеек с числами потребует нескольких минут. Сложнейшие ухищрения позволили уменьшить время поиска до полусекунды. Но для современных быстродействующих машин это целая вечность.

Тогда придумали магнитные барабаны.



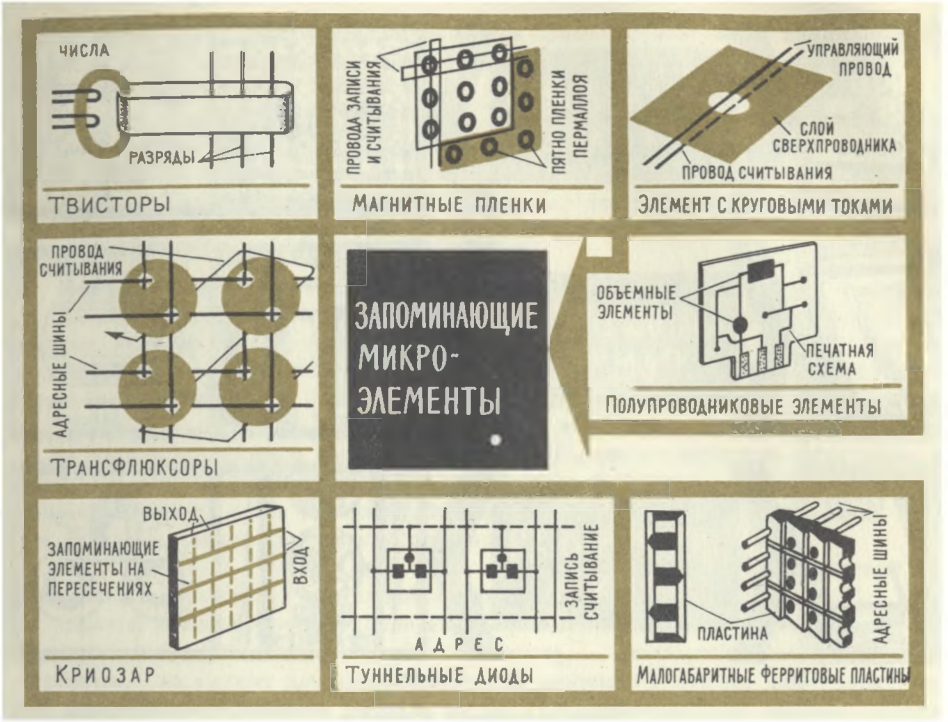
Виды машинной «памяти».

Магнитный барабан, по сути дела, представляет собой очень широкую замкнутую в кольцо магнитную ленту. На ней запись ведется по многим дорожкам. Их число доходит до восьмидесяти. Это заставляет иметь и соответствующее число записывающих и считывающих головок.

На барабане может храниться до 30 тысяч чисел, которые записываются намагничиванием маленьких участков поверхности, как и на ленте.

Барабан вращается с большой скоростью. Она иногда достигает 12 тысяч оборотов в минуту. И за время одного оборота считывается или записывается нужное число или группа чисел.

Без преувеличения можно сказать, что вся история развития быстродействующих вычислительных машин — история совершенствования их «памяти». Особенно отчетливо это можно увидеть на развитии оперативной «памяти». Еще недавно считалась быстрой «память» на электронно-лучевых трубках, как в телевизоре. Затем поставили «память» на ферритовых сердечниках. Они дают быстродействие до 300 тысяч и более обращений в секунду, при этом обеспечивают высокую надеж-



Конструкторы стремятся создавать надежные, миниатюрные, быстродействующие запоминающие элементы.

ность. А занимают малый объем. В 1 *см*^{3} можно «уместить» тысячу элементов информации.

В самых же совершенных машинах оперативная «память» способна вместить до десяти миллионов элементов информации.

Но и подобные характеристики «памяти» уже не удовлетворяют конструкторов, которые всеми силами стремятся увеличить ее объем и скорость выборки. Поэтому строят «память» с использованием самых последних достижений физики: туннельных диодов, криогенных элементов, тонких магнитных пленок — так называемых средств микроминиатюризации.

Но, несмотря на такие впечатляющие качества, характеризующие машинную «память», она во многом еще проигрывает памяти человека.

Емкость нашей памяти колоссальна, мы уже подсчитывали. Для наглядности — еще одно сравнение. Общее количество всех электронных ламп и транзисторов, изготовленных во всем мире, соизмеримо с количеством всех нейронов в мозгу одного человека. А человек обладает

рабочей емкостью памяти до миллиона миллиардов единиц информации! И по надежности память человека намного превосходит машинную. Чем больше элементов в ее устройствах, тем больше вероятность их повреждений. Если в сложном агрегате «памяти» миллионы элементов, то из-за частых сбоев она не будет работать. Мозг же, несмотря на миллиарды нейронов, работает «без устали», память практически не знает остановок и не требует ремонта.

Теперь сравним объем памяти человека и «памяти» машины. У человека объем мозга составляет всего полтора кубических дециметра. У электронного мозга такая же «память» из полупроводников потребовала бы огромного здания, высотой 100 *м*. Энергии мозг потребляет не более десятка ватт, а для работы машинной «памяти» пришлось бы строить большую гидроэлектростанцию.

Но, конечно, самое главное преимущество каждый из нас, людей, ощущает ежеминутно. В течение жизни мы регистрируем миллионы событий, впечатлений; и именно это накопление воспоминаний делает необъятным наше интеллектуальное богатство. А оно — мощный источник питания всей эмоциональной жизни людей. Человек прекрасно сохраняет в памяти и краски заходящего солнца в какой-то из вечеров своей молодости, и едва заметные события личной жизни.

Нельзя удержаться, чтобы не привести здесь примеры из книги по бионике о запоминании человеком однажды полученного впечатления. Французскому рисовальщику Гюставу Доре (автору широко известных иллюстраций в книге «Гаргантюа и Пантагрюэль» Ф. Рабле) издатель однажды поручил сделать рисунок с фотографии какого-то альпийского вида. Доре ушел, забыв взять с собой фотографию. На следующий день он принес совершенно точную копию. Известно также, что самый удачный портрет президента Линкольна был написан провинциальным почитателем, видевшим его всего лишь раз. По свидетельству современников, полководцы Юлий Цезарь и Александр Македонский знали в лицо и по имени своих солдат, а ведь их было очень много — до 30 тысяч. Рассказывают, что Моцарт точно записал большую сложную симфонию, услышанную только один раз. Композитор А. К. Глазунов легко восстановил утраченные партитуры больших музыкальных произведений. Замечательному пианисту С. В. Рахманинову достаточно было один раз услышать фортепьянный концерт, чтобы точно воспроизвести его. Выдающийся шахматист А. Алехин помнил все сыгранные шахматные партии и, не глядя на доски, мог одновременно играть с 30—40 партнерами.

Нашу память называют ассоциативной. Воспоминания следуют одно за другим, образуя логический процесс, который освобождает мозг от излишней работы, своевременно снабжая его необходимой информацией и сообщая ему изумительную способность к изобретательности.

По сравнению с этим чудом «память» электронного мозга кажется весьма ничтожной. Меньшая в сравнении с нашим мозгом емкость еще

далеко не самый главный недостаток машинной «памяти». Ее драмой является слабость при отыскивании сведений на «полках» электронных или магнитных «складов». Чтобы отыскать то или иное «воспоминание», машина должна пересмотреть десятки тысяч информаций, подобно тому как нерадивый кладовщик пересмотрел бы все вещи на своем складе, чтобы найти одну затерявшуюся.

Правда, ученые утверждают, что в перспективе в машинах можно иметь более компактную «память», такую, как в мозге. Тогда в 1 $м^3$ она могла бы уместить всю информацию, накопленную и записанную человечеством за всю его историю! А это 100 000 миллиардов элементов информации. Значит, можно надеяться, что в будущем мы получим в электронных машинах практически неограниченную оперативную память.

Наука наших дней твердо пришла к выводу, что прогресс многих отраслей знаний в значительной степени зависит от раскрытия тайны памяти человека и от возможностей в создании искусственной, машинной «памяти».

Вот почему в этой энциклопедии так много внимания уделено, казалось бы, частному вопросу — емкости памяти.



— Сегодня у нас химия



ЖАККАРДОВ ПРИНЦИП

Жаккардов, или перфорационный, принцип — это запись информации пробиванием отверстий (перфораций) в каких-либо носителях информации — перфокартах, перфолентах.

«ГОВОРЯЩИЕ» ОТВЕРСТИЯ

Среди многих устройств особое значение для развития автоматизации счетной техники сыграло приспособление, не имеющее, казалось бы, никакого отношения к счетным машинам.

В грозное для Европы время, когда Наполеон завоевывал одну страну за другой и армии нужно было много тканей, французский изобретатель Жозеф-Мари Жаккар, сын лионского ткача, решил автоматизировать работу ткацкого станка. Он был упорен и добился своего — построил станок, который даже был отмечен медалью Парижской выставки. Вскоре только во Франции работало более 10 тысяч таких станков.

Жаккар сумел найти прием, которым можно было воздействовать на сложную работу различных механизмов. Изобретатель составил набор картонных карт с разным расположением отверстий.

Отверстия были условным обозначением порядка работы машины. Карты проходили под щупами. Когда щупы попадали в отверстие, они опускались и с помощью особых устройств перемещали нити на ткацком станке. На тканях выходили сложные узоры.

Перфорационный принцип управления — с помощью отверстий на карточках и ленте — полностью себя оправдал и вскоре получил широкое распространение в тех машинах, где требовалось согласование сложных действий механизмов.

Новый принцип применили в музыкальных аппаратах, в телеграфных приборах, в наборных машинах. Было построено механическое пианино (пианола), в котором перфорированная бумажная лента управляла молоточками, ударяющими по клавишам.

«Если с помощью отверстий можно управлять станками, аппаратами, музыкальными инструментами, то почему бы не приспособить перфорационные карты для ввода чисел и управления счетными машинами?» — такой вопрос задавали себе ученые.

Одним из пионеров создания автоматических счетных машин с использованием перфокарт был англичанин Чарлз Бэббидж, декан кафедры математики Кембриджского университета. Той самой кафедры, которую когда-то занимал Ньютон.

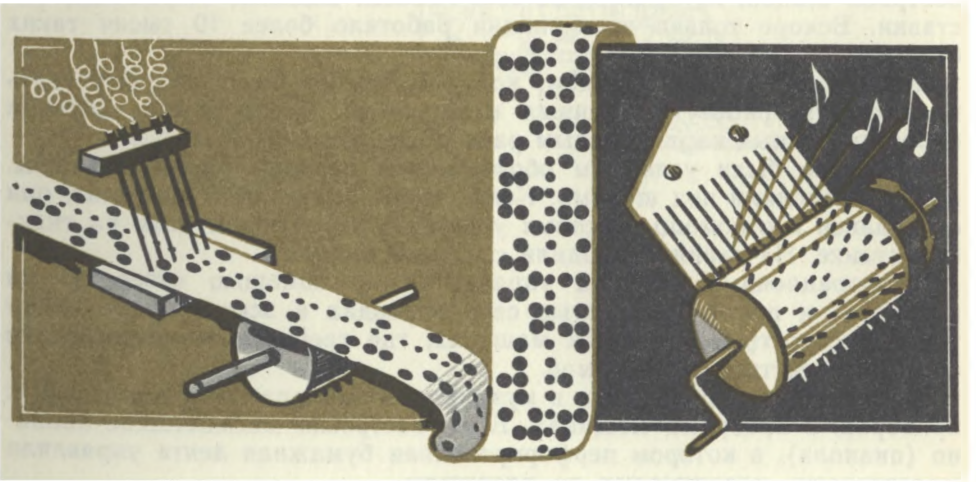
В 1812 году Бэббидж как-то просматривал таблицы логарифмов. Он знал, что они полны ошибок, и размышлял, как избежать их в новом издании.

Ему припомнилось, что французские ученые применили новый метод при составлении других таблиц. Они расчленили сложную задачу на ряд простых операций, которые сводились к сложению и вычитанию. Эти операции выполняли люди, ничего в математике не знавшие, кроме простых арифметических действий.

Бэббидж решил приспособить счетные машины для выполнения таких простых операций.

В 1822 году он построил небольшую рабочую модель. Идея была встречена Английским королевским обществом с энтузиазмом. Уже в следующем году были отпущены деньги, построена мастерская, заказаны чертежи. Но работа продвигалась медленно. Трудности усугублялись тем, что изобретатель то и дело вносил в конструкцию бесчисленные усовершенствования.

Прошло немногим более десяти лет, и Бэббидж остался в одиночестве со своим детищем. Работы были временно приостановлены, а в 1842 году и совсем прекращены.



Различные устройства программного управления.

Однако Бэббидж не сдавался. Он разработал еще один проект, более смелый, чем предыдущий. Это была «аналитическая машина», послужившая прототипом для современных быстродействующих вычислительных машин. По проекту она состояла из трех частей: одна — Бэббидж называл ее «складом» — регистрировала и хранила числа с помощью набора счетчиков; другая — «фабрика» — должна была совершать операции с числами, взятыми из «складов»; наконец, третья, которой изобретатель названия не дал, но которую условно можно было бы назвать «конторой», регулировала последовательность операций, производила отбор чисел и подавала в нужное место результаты вычислений.

По оценке Бэббиджа, его машина могла выполнять в минуту 60 сложений, или одно умножение двух пятизначных чисел, или деление стозначного числа на пятизначное. Он планировал емкость «склада», равную тысяче пятидесятизначных чисел.

Управление вычислительным процессом можно было осуществлять с помощью перфокарт. Щупы, проходящие в отверстия карт, приводили в движение механизмы, с помощью которых числа передавались со «склада» на «фабрику» и обратно.

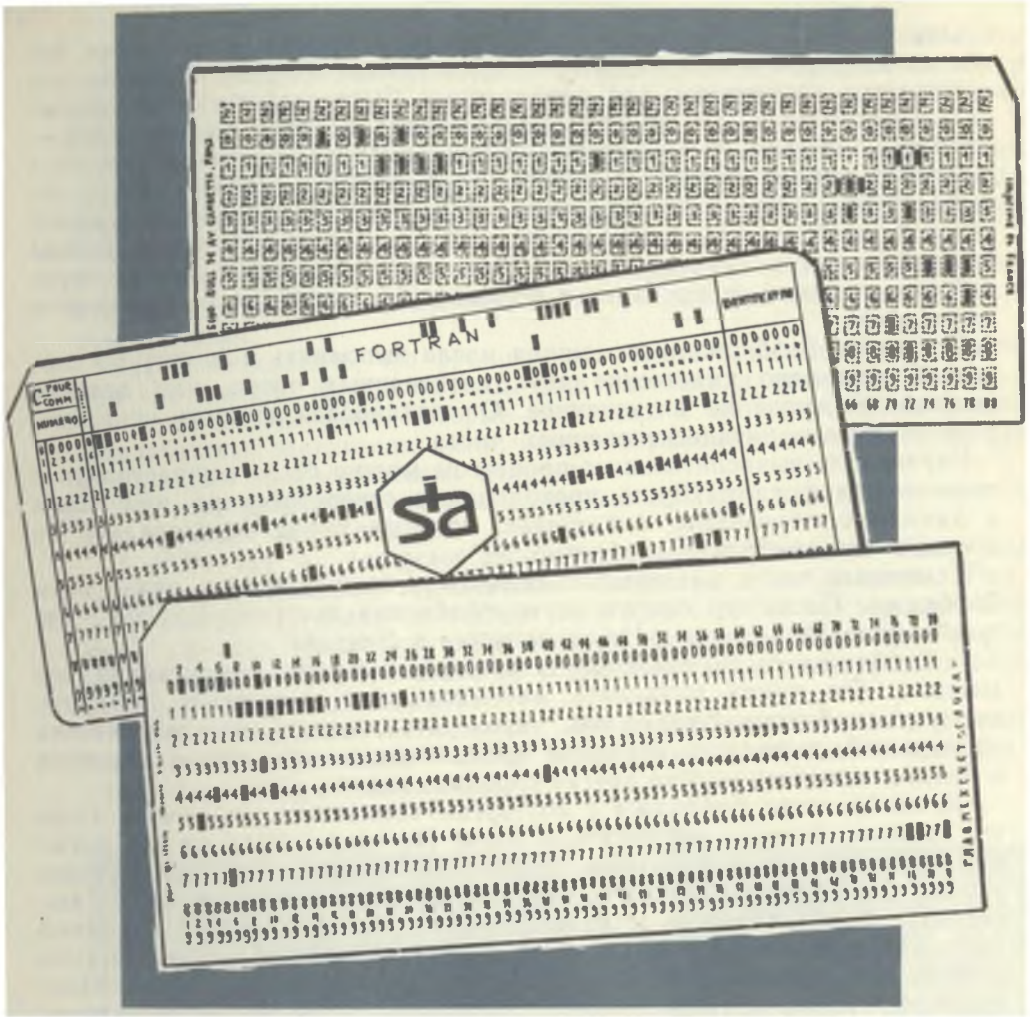
Некоторые части машины, по-видимому, были сделаны при жизни Бэббиджа. После его смерти часть «фабрики» построил его сын. Теперь машина находится в Научном музее в Лондоне.

У Бэббиджа было ясное представление о сферах применения его машины. Он думал вычислить математические и морские таблицы, выверить таблицы логарифмов, проверить данные астрономических наблюдений, вычислить среднюю продолжительность жизни человека в Англии и решить многие другие сложные задачи.

Об изобретении Бэббиджа с восторгом отзывались передовые люди его времени. Знаменитый писатель Эдгар По писал: «Что же мы должны думать о вычислительной машине Бэббиджа? Что мы должны думать о машине из дерева и металла, которая может не только вычислить астрономические и навигационные таблицы любой заданной протяженности, но и сделать точность своих действий математически достоверной благодаря своей способности исправлять свои возможные ошибки? Что мы должны думать о машине, которая может выполнять не только все это, но и печатать свои сложные результаты, когда они получены, без малейшего вмешательства интеллекта человека?»

Изобретение Бэббиджа опередило уровень развития техники того времени. Его идея не была реализована. Но заслуги ученого в области вычислительной техники очень велики. Он разработал принципы организации и построения мощных автоматических вычислительных машин и впервые применил перфорационный ввод данных в счетную машину.

В 1890 году в Англии проходила перепись населения. Для ускорения и удешевления обработки результатов переписи инженер Голлерит



Различные виды перфокарт.

построил специальную суммирующую машину. Он назвал ее табулятором.

Изобретатель тоже применил перфорационный ввод чисел, но на новой основе. Он воспользовался успехами техники слабых токов и создал машину на электромеханическом принципе. Счетчики в ней остались механическими, а управление осуществлялось электрическими импульсами.

В табуляторе Голлерита перфокарта ощупывалась щеточками из тонких упругих проволочек. Когда щеточки попадали в отверстия перфокарты, замыкались цепи и в них возникали электрические импульсы. Они и использовались для ввода чисел и управления работой машины.

Первый табулятор был очень примитивен, но задача автоматического счета с помощью перфокарт и электрического тока была решена не только в принципе, но и практически. В развитии вычислительной техники открылась новая страница.

НА СТР. 108—109 ПОКАЗАН КОМПЛЕКТ СОВРЕМЕННЫХ ПЕРФОРАЦИОННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН. Он состоит из двух групп машин: для подготовки и предварительной обработки перфокарт и для вычислительной работы. Главная, если ее можно так назвать, машина в комплекте — табулятор. Он может самостоятельно не только вести счет — складывать, умножать, делить числа, автоматически комбинировать эти действия, — но и осуществлять некоторые логические операции. Все это машина делает с помощью перфокарт.

В типографии на карте печатается цифровая сетка в виде 80 колонок цифр. В каждой колонке цифры помещаются сверху вниз — от 0 до 9. Это позиции, места возможной пробивки отверстий. Кроме того, на карте между девятым и восьмым рядами есть нумерация рядов колонок.

В таком виде картонный прямоугольник «нем». Чтобы он «заговорил», надо пробить отверстия в позициях колонок. Их пробивают, или, как говорят, перфорируют на специальной машине — перфораторе. После него карты поступают на другую машину — контрольник, который проверяет, правильно ли сделаны отверстия.

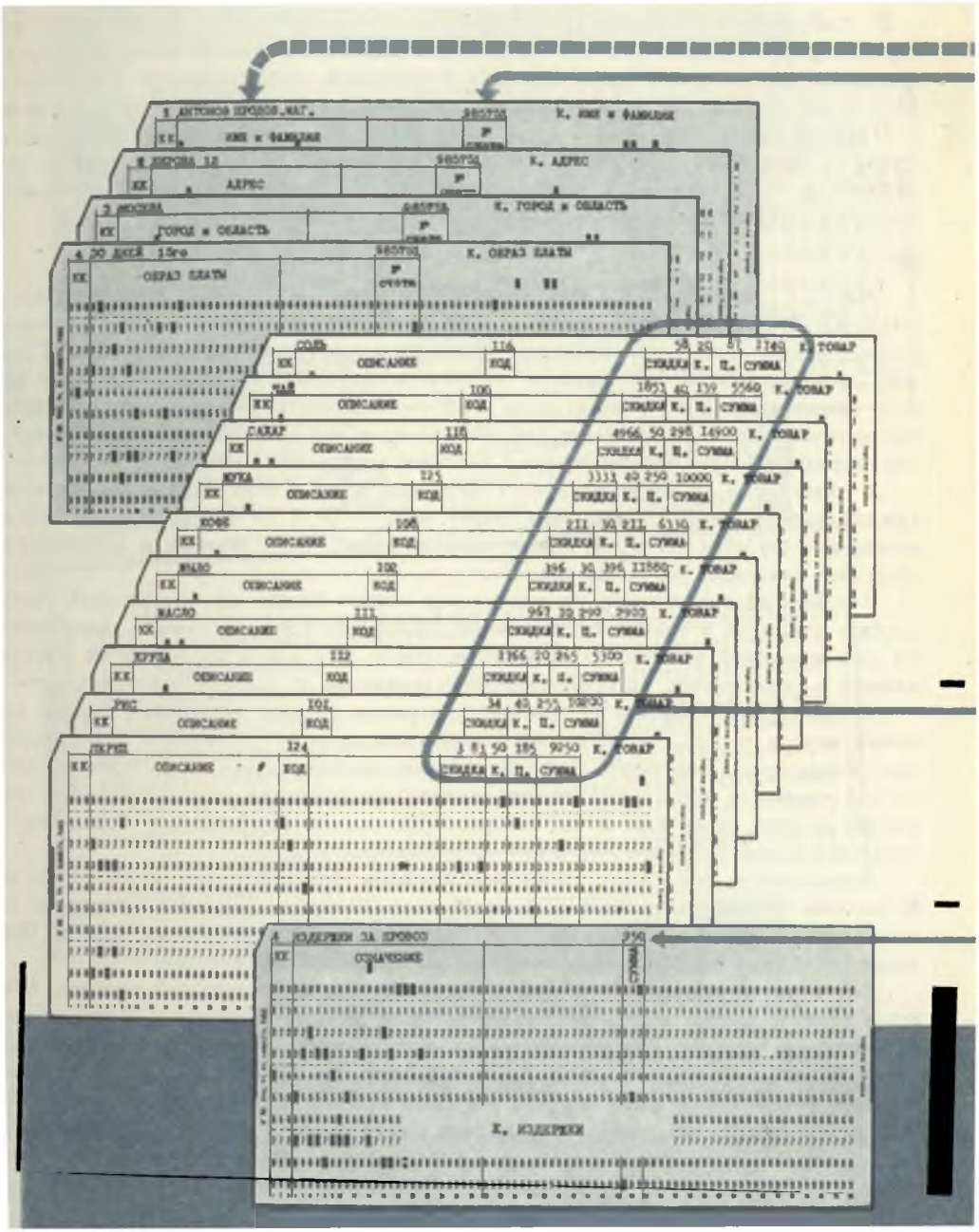
Допустим, что отверстия на перфокарте в нашем примере показывают данные рабочего наряда токаря. За месяц на большом предприятии собираются сотни тысяч карт. Когда нужно подсчитать зарплату рабочим, получить данные о выполнении плана или стоимости продукции, вступает в дело электрический сортировщик. Со скоростью десятки тысяч карт в час он группирует их по определенным признакам в отдельные пачки. Затем они поступают на табулятор.

Здесь сначала происходит чтение перфозаписей. Это делает специальный блок из 80 щеточек — по числу колонок в перфокарте. Щеточки соединены проводами со счетчиками и печатающими механизмами. Перфокарта идет десятками вперед. Щеточки ощупывают сначала все девятые, потом восьмые позиции и т. д.

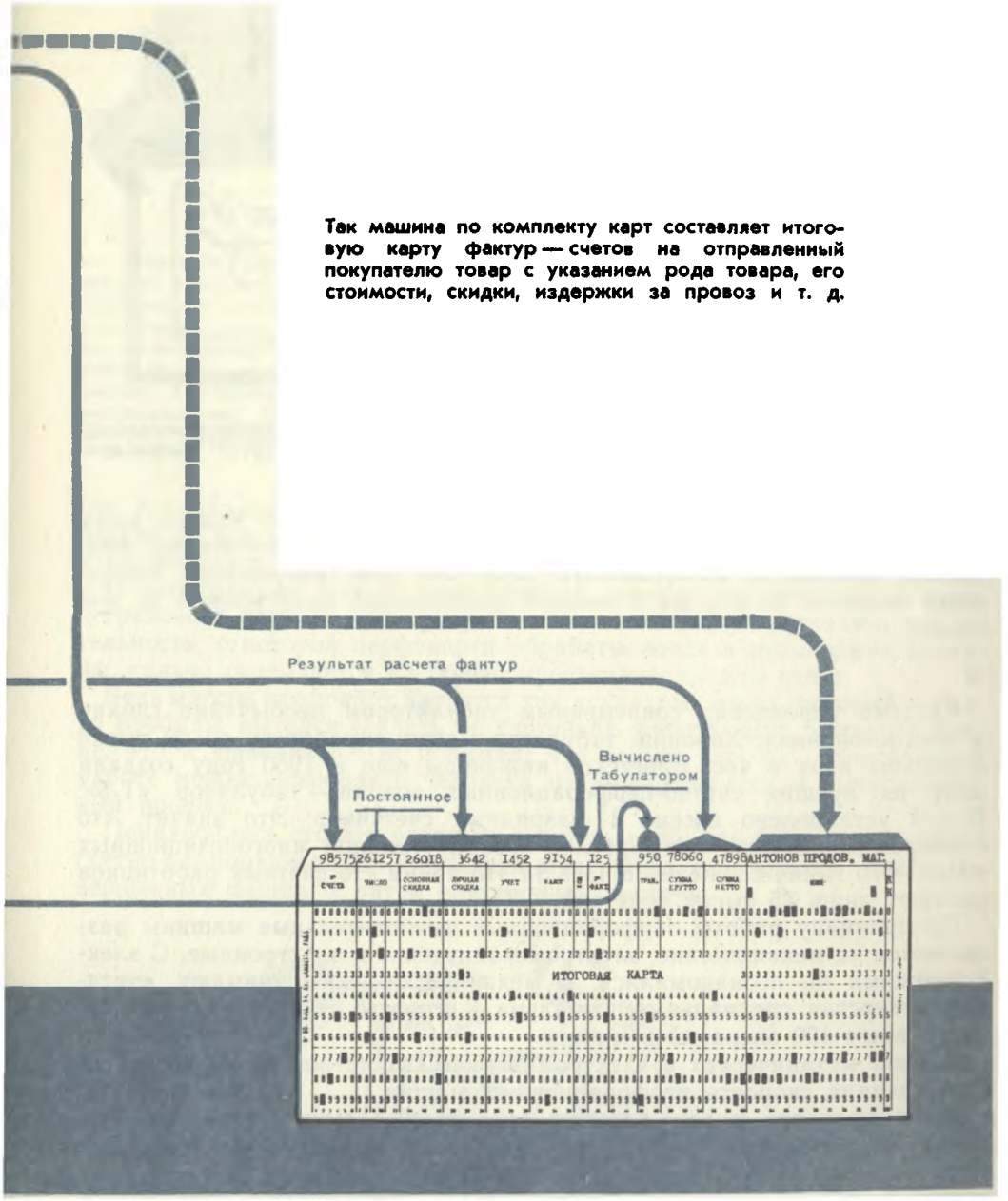
Вот в карте оказалась пробитой восьмая позиция в тринадцатой колонке. Щеточка замкнет электрическую цепь, сработает электромагнит цифрового колеса, и оно начнет поворачиваться. Карта сместится на одну позицию — седьмую, колесо повернется на одну цифру и покажет 1. Карта сместится еще на одну позицию — шестую, и колесо покажет 2. А когда щеточка достигнет нулевой позиции, поворот цифрового колеса закончится: оно повернулось на все восемь позиций и показывает цифру 8. Таким образом, восьмерка с перфокарты передана в разряд счетчика, соответствующий тринадцатой колонке. Так же производится и суммирование.

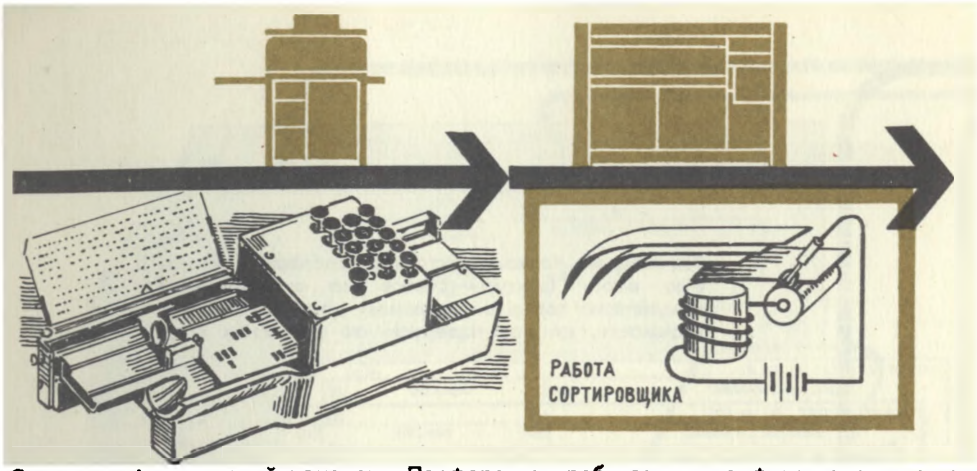
А кто же управляет большой и сложной машиной?

Те же перфокарты и щеточки.


1 АНТОНОВ ПРОДОВ.МАГ.
2 ИВАНОВА 12
3 МОСКВА
4 20 ДЕКЗ 15го
СОЛЬ
ЧАЙ
САХАР
МУКА
ЯЙЦО
МАСЛО
КРУПА
РИС
ПЕРЕЦ
К. ИМЯ и ФАМИЛИЯ
К. АДРЕС
К. ГОРОД и ОБЛАСТЬ
К. ОБРАЗ ПЛАТЫ
К. ТОВАР
К. УДЕРЖКИ ЗА ПРОВОЗ
К. УДЕРЖКИ

Так машина по комплекту карт составляет итоговую карту фактур — счетов на отправленный покупателю товар с указанием рода товара, его стоимости, скидки, издержки за провоз и т. д.





Счетно-перфорационный комплект. Перфоратор пробивает на перфокарте отверстия. Контрольник проверяет правильность пробивки отверстий и сортирует перфокарты

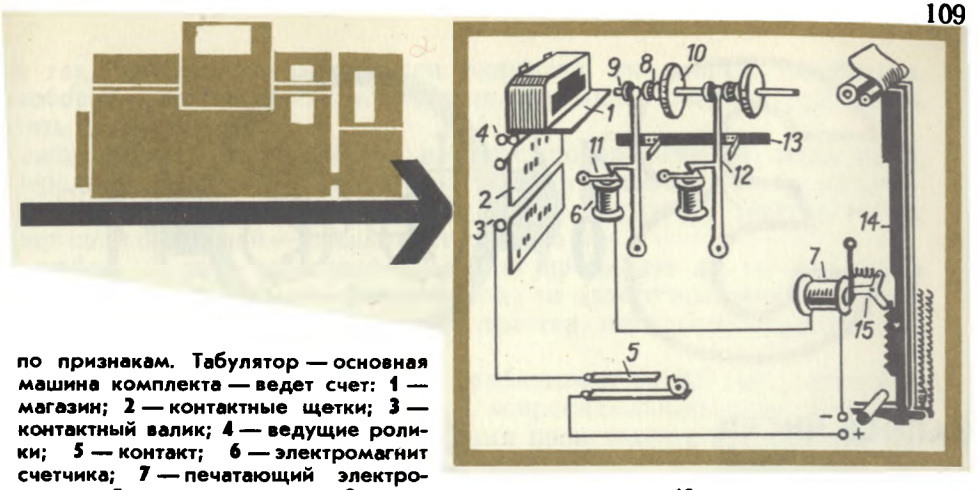
Чтобы электрический импульс совершил сложный путь внутри машины, концы всех электрических цепей, связанных со щеточками, счетчиками. печатающими механизмами, выведены на коммутационную доску. Это пульт распределения электрических импульсов. Отсюда они с помощью переключателей распределяются по всей машине.

Система управления современным табулятором необычайно гибкая и многосторонняя. Хороший табулятор может обработать до 60 тысяч и больше карт в час. Советские инженеры еще в 1950 году создали одну из лучших счетно-перфорационных машин — табулятор «Т-5». В ней установлено восемь 11-разрядных счетчиков. Это значит, что одновременно можно суммировать восемь столбцов многопозиционных чисел — 70 тысяч сложений в час! За это время сто счетных работников сделают лишь 25 тысяч действий.

По принципу работы перфорационные вычислительные машины разделяются на механические, электромеханические и электронные. С электрическими вы познакомились. В механических воспринимают, «читают» отверстия специальные щупальца — штифты. Эти машины производят всего 100 операций в минуту.

Замена механических и электромеханических устройств на электронные подняла скорость перфорационных машин.

Но перфокарта и сам принцип организации вычислительного процесса на комплекте счетно-перфорационных машин сдерживает его производительность. Характерно, что скорость счета табулятора примерно в 15 раз выше, чем на клавишных суммирующих машинах, а



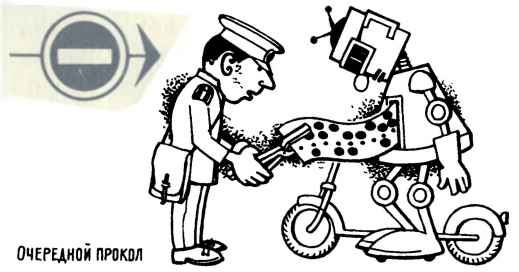
по признакам. Табулятор — основная машина комплекта — ведет счет: 1 — магазин; 2 — контактные щетки; 3 — контактный валик; 4 — ведущие ролики; 5 — контакт; 6 — электромагнит счетчика; 7 — печатающий электромагнит; 8 — сцепная муфта; 9 — ведущая ось счетчиков; 10 — счетное колесо; 11 — якорь-защелка; 12 — рычаг сцепной муфты; 13 — планка возврата рычагов; 14 — штанга с цифровыми литерами; 15 — трехплечий рычажок.

вот производительность всего комплекта — только в 3—4 раза. Это результат все еще большой доли ручного труда: карты контролирует и перфорирует оператор, от машины к машине их переносит человек.

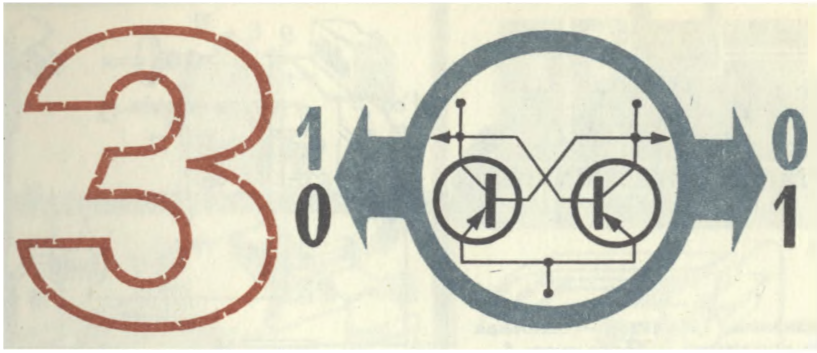
И хотя каждая порция одновременно переносимых перфокарт здесь несравненно больше, чем при работе с клавишными машинами, медлительность, с которой перфокарта обрабатывается в механизмах машины, сильно сказывается на общей производительности счета.

Ведь массив перфокарт является тем «складом» чисел, который когда-то Бэббидж пытался создать на счетчиках, работающих в том же темпе, что и «фабрика». Он понимал, что только при их согласованной работе можно освободить человека от вмешательства в вычислительный процесс.

Понадобилось сто лет развития техники, чтобы на базе современного счетно-перфорационного комплекта приступить к созданию более совершенных машин, а затем электронной техники.



ОЧЕРЕДНОЙ ПРОКОЛ



ЗАПИСЬ ЧИСЕЛ В МАШИНЕ

Изображение чисел и команд в машине — в запоминающем устройстве или арифметическом устройстве — с помощью систем счисления.

ДВА СОСТОЯНИЯ

Все из 0 и 1 — это очень удобно, всего два символа. Давайте попробуем поискать возможности их записи — механической, электрической, электронной.

Начнем с простейшей. Вы, наверное, видели нехитрый запор на деревенской калитке — деревяшка, в середину ее вбит гвоздик. Это приспособление либо закрывает калитку, либо открывает, среднего быть не может.

А электрическая аналогия такой вертушки? Простой кнопочный выключатель настольной лампы: нажатие — свет включен, нажатие — свет выключен. Выключатель будет находиться в одном состоянии, пока мы не переведем его в другое. И еще. Установленный в том или ином положении, он будет находиться в нем сколько угодно, обеспечивая запоминание положения, которое устанавливается.

Символы двоичной системы — 0 и 1 — можно передавать и записывать с помощью электрического тока. Например, меняя продолжительность его протекания по цепи коротко — точка, длиннее — тире, как в азбуке Морзе. Можно менять направление тока: плюс — минус. А можно менять амплитуду: есть сигнал — единица, нет сигнала — нуль. Последний способ потому применяется в вычислительных машинах, что он надежен, а отсутствие или появление сигнала легко различается в устройствах машины.

Основная деталь быстродействующей вычислительной машины — так называемый триггер. Он тоже работает по принципу включено — выключено.

Упрощенно триггер можно представить себе в виде двух электронных ламп, смонтированных в одной колбе. Электрически они соеди-

нены так, что если первая лампа включена, то вторая выключена, и наоборот. Одно из таких устойчивых состояний триггера условились считать 1, а другое 0.

Каждый новый электрический импульс, подаваемый на сетки ламп, поочередно то пропускает поток электронов в одной из них, то останавливает его. И в точном соответствии с этим импульсом триггер тотчас меняет свое состояние — показывает то 1, то 0.

В любом из двух состояний он может пребывать до тех пор, пока не поступит новый импульс. Так, переходя из одного состояния в другое, или, как говорят, «опрокидываясь», триггер позволяет отмечать импульсы.

Механическое устройство обычно срабатывает за 0,5 *сек,* электрическое — выключатель — за 0,035 *сек,* а «опрокидывание» триггеров благодаря особенностям электрических ламп происходит с невероятной быстротой — за 0,000001 *сек.* В этом и заключается один из секретов быстрого счета электронной машины.

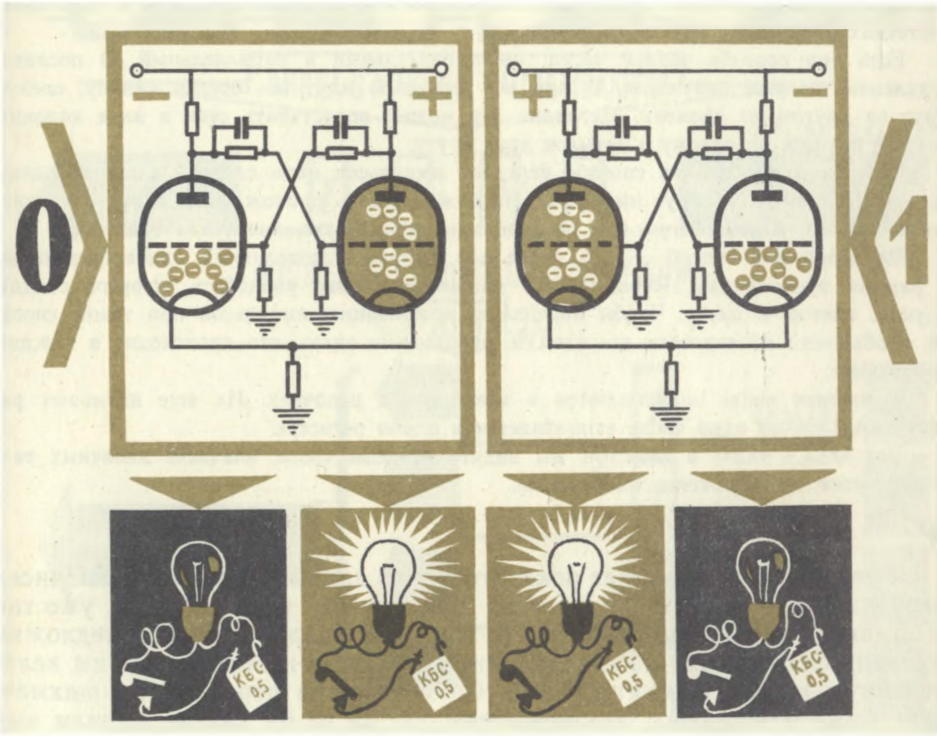


Схема триггера. Когда правая лампа открыта, а левая закрыта, в триггере зафиксирован 0. Если же, наоборот, левая лампа открыта, а первая закрыта, в триггере 1.

Но законно возникает вопрос: триггер записывает только 1 и 0, а как же записать в машине все остальные числа?

Чтобы триггеры считали, их собирают в триггеровые цепи-счетчики.



ПЕРЕД НАМИ ЧЕТЫРЕ ТРИГГЕРА, ОБЪЕДИНЕННЫЕ В ЦЕПЬ.

У каждого из них по два входных и выходных контакта. Перед началом работы на триггерах зафиксировано состояние «нуль», то есть цепь-счетчик показывает 0000.

Теперь представим себе, что на входные контакты первого справа триггера подан электрический сигнал — импульс. Триггер «опрокинется» и покажет 1, а на остальных останется 0. Следовательно, цепь даст 0001.

Передадим теперь второй импульс. Первый триггер выключится, даст опять 0 и передаст импульс на следующий триггер. На том зафиксируется 1. В цепи будет 0010.

Такую систему триггеров можно сравнить со счетами, на каждой проволочке которых всего по две костяшки. Когда все костяшки одной проволочки на счетах передвинуты справа налево, надо передвинуть одну костяшку на следующей проволочке, а эти вернуть в исходное положение. То, что на счетах делают пальцы, в триггерах-счетчиках производят электроимпульсы.

Есть два способа записи чисел: последовательный и параллельный. О последовательном вы уже прочитали. В нем все импульсы идут по одному каналу, следуя друг за другом во времени. Наглядно это можно представить себе в виде колонны солдат, идущих по одному в затылок друг другу.

При последовательном способе передачи импульсов надо следить лишь за одним каналом, по которому идут импульсы. Но нужно ждать прохождения импульсов одного за другим, подобно тому как вы ждете на перекрестке, пропуская транспорт.

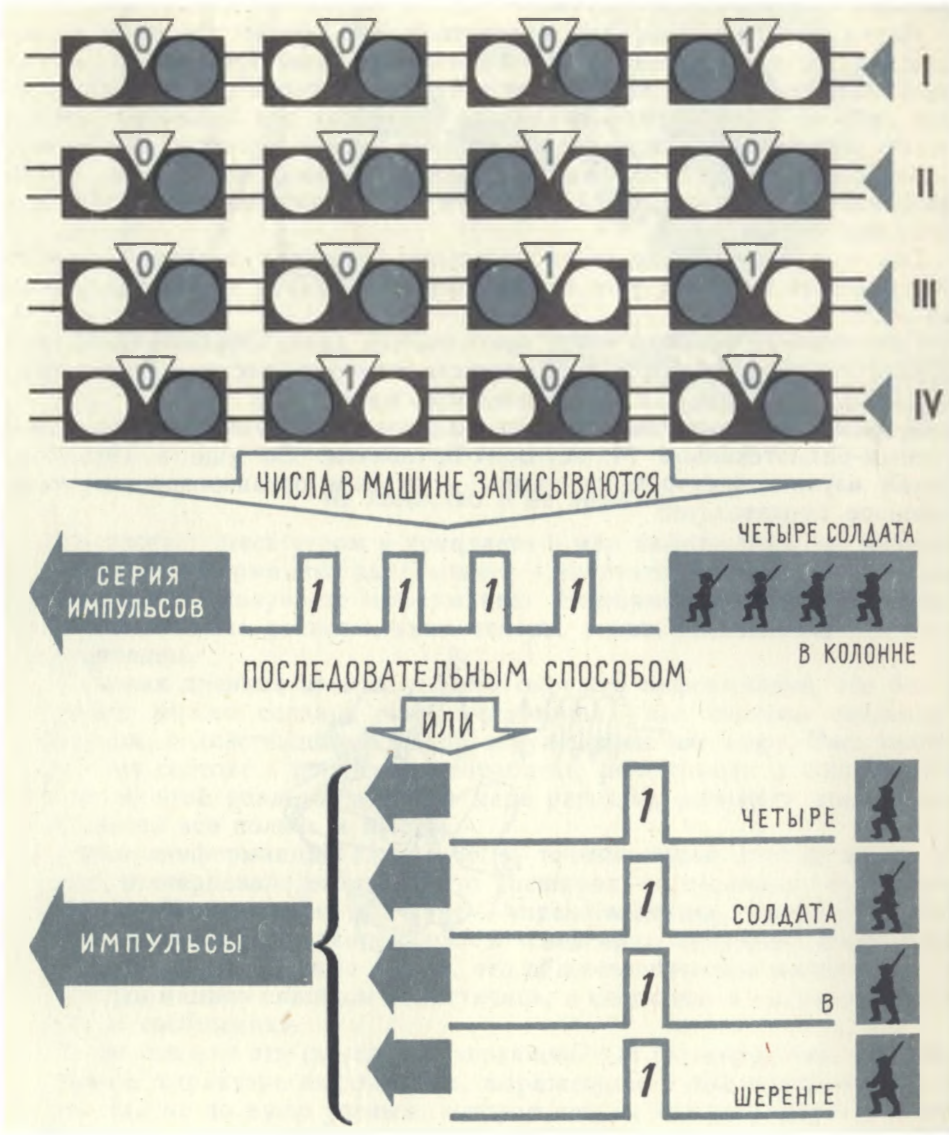
Параллельный способ — это когда все импульсы появляются одновременно, но в разных проводниках. Параллельное движение можно уподобить шеренге солдат, идущих плечом к плечу. Чтобы определить комбинацию импульсов при таком способе, необходимо обследовать все каналы, необходимо знать, что происходит в каждом проводнике.

В машине числа записываются в электронных цепочках. Их еще называют регистрами. Обычно одно число записывается в одном регистре.

Вот запись числа в регистре. Вы видите разряды числа, значение двоичных разрядов числа, их выражение импульсами.



На первый взгляд может показаться, что для подсчета больших чисел необходимо огромное количество триггерных ячеек. Здесь уместно вспомнить индийскую легенду о том, как царь Шерам предложил мудрецу Сете самому себе назначить награду за изобретенную им великолепную игру — шахматы. Тогда Сета положил перед царем шахматную доску и попросил, чтобы за каждую из ее 64 клеток выдали ему пшеничные зерна, причем за первую клетку одно зерно, за вторую — два, за третью — четыре и т. д. То есть за каждую клетку в два раза больше предыдущей.



Запись в машине чисел последовательным и параллельным способами.

Вначале желание мудреца показалось очень скромным. Однако Сета награды своей так и не получил.

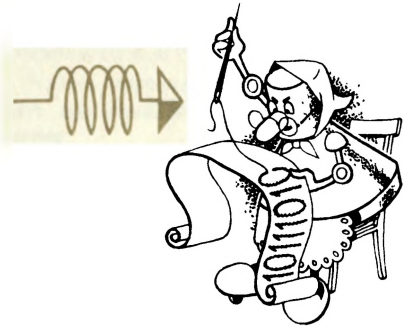
Математики царя Шерама подсчитали, что количество зерен на последней клетке выражается не поддающимся воображению гигантским числом: восемнадцать квинтильонов четыреста сорок шесть квадрильонов семьсот сорок четыре триллиона семьдесят три биллиона семьсот девять миллионов пятьсот пятьдесят одна тысяча шестьсот двенадцать!

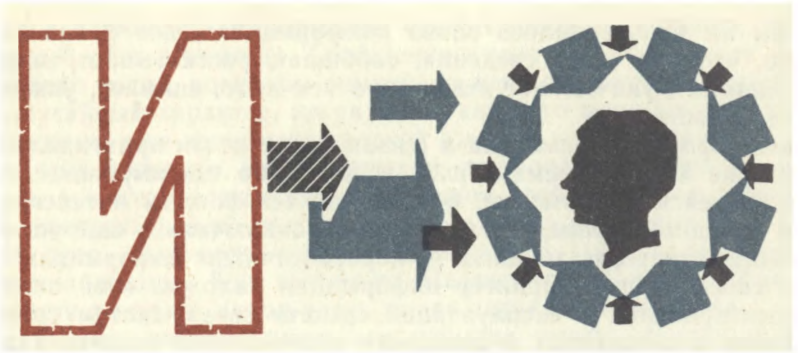
Зерно занимало бы два амбара длиной от Земли до Солнца. А ведь изобретатель шахмат сумел получить это гигантское число только с помощью 64 клеток.

Так и в современных вычислительных машинах цепочка всего из 64 триггеров способна уже пересчитывать огромное «шахматное» число — 2^{64}.

Триггеры как приборы счета применяются давно. Раньше их использовали главным образом для подсчета атомных частиц. Затем триггеры стали применять в вычислительных машинах.

У нас в стране первый триггер был создан в 1918 году известным ученым-радиотехником М. А. Бонч-Бруевичем. Он еще в 1916 году начал изучать электронные лампы и первым организовал их отечественное производство.





ИНФОРМАЦИЯ

Сведения об окружающем нас мире, протекающих в нем процессах, которые воспринимают живые организмы, управляющие машины и другие системы в процессе жизнедеятельности и работы.

НЕ ВЕЩЕСТВО И НЕ ЭНЕРГИЯ...

Вы просыпаетесь утром и попадаете в мир информации: вы видите — получаете информацию; вы слышите — получаете информацию; вы разговариваете — получаете информацию. Информацию вам несут книги, журналы, газеты, реклама, кино, театры, радио, телевидение — всего не перечислишь.

С самых древних времен человек окружен информацией. Не без основания можно сказать, что информация — это система сведений о реальном, о действительности, об окружающем нас мире. Весь процесс познания состоит в получении, обработке, регистрации и передаче сведений об этой реальности. И по мере развития познания эти сведения становятся все полнее и полнее.

Слово «информация» латинское. В течение своей долгой жизни оно не раз претерпевало эволюции, то расширяя, то предельно сужая свои границы. Изначальное значение — «представление», «понятие», «контур» — затем трансформировалось в «сведение», «передачу сообщений». В последние годы ученые нашли, что общечеловеческое восприятие слова «информация» слишком «эластично», и свели его к «мере определенности в сообщении».

О чем говорят эти смысловые эволюции? Об удивительном, несколько странном характере информации, выраженном в той эластичности, которая так не по душе ученым, которая так их «не устраивает». И вместе с тем это понятие настолько определенное, что его относят к главным предметам, которые изучает кибернетика, что создана даже наука — теория информации, посвященная проблемам сбора, передачи, хранения, переработки и вычисления информации.

Как бы ни варьировалось слово «информация», все равно главное в нем то, что оно несет сведения, сообщает, рассказывает, знакомит, то есть снимает, уничтожает незнание о чем-либо, снимает, уничтожает неопределенность.

Теорию информации вызвали к жизни потребности практики. Ко второй половине XX века земной шар, если можно так выразиться, гудел от передающейся информации, бегущей по телефонным и телеграфным кабелям и радиоканалам. А потом к ним подключились еще управляющие и математические машины — «переработчики» информации!

И тут своеобразный характер информации наложил свой отпечаток. При проектировании и эксплуатации средств связи, систем связи, каналов связи конструктору и инженеру недостаточно решить задачу с физических и энергетических позиций. С этих точек зрения система может быть самой совершенной и экономичной. Но грош ей цена, если проектировщики при создании передающих систем не обратили внимания на то, какое количество информации пройдет через эту передающую систему.

Да, да, не удивляйтесь, информацию можно измерить количественно, подсчитать. И поступают при подобных вычислениях самым обычным путем: абстрагируются от смысла сообщения, как отрешаются от конкретности в привычных всем нам арифметических действиях (складывая, например, два яблока и три яблока, мы переходим к сложению чисел вообще — 2+3).

Ученые не боятся признаться, что они «полностью игнорировали человеческую оценку информации». Последовательности из 100 букв, например, они приписывают определенное значение информации, не обращая внимания, имеет ли эта информация смысл и имеет ли, в свою очередь, смысл практическое применение. Это количественный, статистический подход — наиболее разработанная ветвь теории информации.

Ученые говорят так: «В соответствии с нашим определением совокупность 100 букв — фраза из 100 букв из газеты, пьесы Шекспира или теоремы Эйнштейна — имеет в точности одинаковое количество информации» (вспомним арифметику: там также 100+20=120, все равно, будь то яблоки, здания, люди, слова, пароходы, звезды и т. д.).

«Наше определение количества информации, — авторитетно утверждают ученые, — является в высшей степени полезным и практичным. Оно в точности соответствует задаче инженера связи, который должен передать всю информацию, содержащуюся в поданной телеграмме, вне зависимости от ценности этой информации для адресата».

Канал связи бездушен. Бездушен не только потому, что это «мертвое тело», «неодушевленная система». Бездушен он и потому, что ему безразлично, что он передает: радость или печаль, сообщение о рождении или о смерти. Передающей системе важно одно — передать нужное количество информации.

Как же вычислить количество информации в конкретном сообщении?

Оценка количества информации основывается на законах теории вероятностей. Это и понятно. Сообщение имеет ценность, несет информацию только тогда, когда мы узнаем из него об исходе события, имеющего случайный характер, когда оно в какой-то мере неожиданно. Ведь сообщение об уже известном никакой для нас информации не содержит.

Если вам, допустим, кто-то позвонит по телефону и скажет: «Сегодня суббота, а завтра воскресенье», то такое сообщение вас удивит лишь своей нелепостью, а не новостью, которую оно содержит.

Иное дело, например, результат финала в шахматном турнире на первенство школы. Кто выиграет: Иванов или Петров? Или партия закончится вничью? Исход здесь имеет случайный характер.

Чем больше интересующее нас событие имеет случайных исходов, тем ценнее будет сообщение о его результате, тем больше информации оно несет.

Сообщение о событии, у которого только два одинаково возможных исхода, содержит одну единицу информации, называемую битом. Вы, вероятно, догадались, что выбор единицы информации не случаен? Да, действительно, он связан с наиболее распространенным двоичным способом ее кодирования при передаче и обработке.

Попытаемся хотя бы в самом упрощенном виде представить себе тот общий принцип количественной оценки информации, который является краеугольным камнем всей теории информации.

Мы уже знаем, что количество информации зависит от вероятностей тех или иных исходов. Если событие, как говорят ученые, имеет два равновероятных исхода, это означает, что вероятность каждого исхода равна $^1/_2$. Такова вероятность выпадения герба или решетки при бросании монеты. Если событие имеет три равновероятных исхода, как в нашем примере с шахматным турниром, то вероятность каждого равна $^1/_3$. Заметьте, сумма вероятностей всех исходов всегда равна единице: ведь какой-нибудь из всех возможных исходов обязательно наступит.

Событие, как вы сами понимаете, может иметь и неравновероятные исходы. Так, при футбольном матче между сильной и слабой командами вероятность победы сильной команды велика — например $^4/_5$. Вероятность ничьей намного меньше, например $^3/_{20}$. Вероятность же поражения совсем мала.

Выходит, что количество информации — это мера уменьшения неопределенности некоторой ситуации. И вычисляют ее с помощью специальных формул.

Различные количества информации передаются по каналам связи, и количество проходящей через канал информации не может быть больше его пропускной способности. А пропускную способность определяют по тому, какое количество информации проходит здесь за единицу времени.

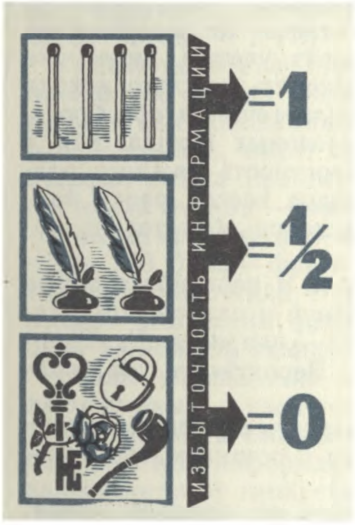
Вы, вероятно, помните, как один из героев Жюля Верна, журналист

Гедеон Спиллет, передавал по телефону главу из Библии, чтобы его конкуренты не могли воспользоваться телефонной связью? В этом случае канал был загружен полностью, а количество информации было равно нулю, ибо абоненту передавались известные для него сведения. Значит, канал работал «вхолостую», пропустив строго определенное количество импульсов, ничем их не нагрузив.

А между тем, чем больше информации несет каждый из определенного числа импульсов, тем полнее используется пропускная способность канала. Но для этого нужно разумно кодировать информацию, найти экономный, скупой язык для передачи сообщений.

Для этого информацию «просеивают» самым тщательным образом. В телеграфе, например, часто встречающиеся буквы, сочетания букв, даже целые фразы изображают более коротким набором нулей и единиц, а те, что встречаются реже, — более длинным.

Но на практике довольно часто случается, что код, возникший в результате самого тщательного «просеивания», код удобный и экономный, может исказить сообщение из-за помех, которые всегда, к сожалению, бывают в каналах связи: искажения звука в телефоне, атмосферные помехи в радио, искажение или затемнение изображения в телевидении, ошибки при передаче в телеграфе. Эти помехи, или, как их называют специалисты, шумы, «обрушиваются» на информацию. А от этого бывают самые невероятные неожиданности.



К определению избыточности. В первом случае она максимальная — равна единице, во втором — равна половине и в третьем минимальная — равна нулю.

Магнитная буря может так исказить телеграмму, что вместо слов «я тебя люблю» в ней будет написано «я тебя убью».

Если наше сообщение «Партию выиграл Иванов», закодированное 01, в результате помех превратится в 00 — «Партию выиграл Петров», то из-за ошибки изменится весь смысл сообщения.

Поэтому для повышения надежности в передаче и обработке информации приходится вводить лишние символы — своеобразную защиту от искажений. Они — эти лишние символы — не несут действительного содержания в сообщении, они избыточны.

С точки зрения теории информации, все то, что делает язык красочным, гибким, богатым оттенками, многоплановым, многозначным, — избыточность.

Как избыточно с таких позиций письмо Татьяны к Онегину! Сколько в нем информационных «излишеств» для краткого и всем понятного сообщения: «Я вас люблю»!

И как информационно точен крендель, который висел обычно над входом в булочную в городах дореволюционной России!

В этой связи полезно вспомнить анекдот, рассказанный в свое время знаменитым американским ученым Франклином, о шляпочнике, пригласившем своих друзей для обсуждения проекта вывески.

Предполагалось нарисовать на вывеске шляпу и написать:

ДЖОН ТОМПСОН, *шляпочник,*

делает и продает шляпы

за наличные деньги

Один из друзей заметил, что слова «за наличные деньги» являются излишними — такое напоминание будет оскорбительным для покупателя.

Другой нашел также лишним слово «продает», так как само собой понятно, что шляпочник продает шляпы, а не раздает их даром.

Третьему показалось, что слова «шляпочник» и «делает шляпы» представляют собой ненужную тавтологию, и последние слова были выкинуты.

Четвертый предложил выкинуть и слово «шляпочник» — нарисованная шляпа ясно говорит, кто такой Джон Томпсон.

Наконец, пятый уверял, что для покупателя совершенно безразлично, будет ли шляпочник называться Джоном Томпсоном или иначе, и предложил обойтись без этого указания. Таким образом, в конце концов на вывеске не осталось ничего, кроме шляпы.

Конечно, если бы люди пользовались только экономными кодами, без избыточности в сообщениях, то все «информационные формы» — книги, доклады, статьи — были бы предельно краткими. Но они проиграли бы в доходчивости и красоте.

РАССМОТРИМ ПРИНЦИПИАЛЬНУЮ СХЕМУ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ.

Всякое событие, всякое явление служит источником информации. В данном случае «источник» — очень верное слово. Отсюда начинается течение информационной реки.

Всякое событие, всякое явление может быть выражено по-разному, разным способом, разным «алфавитом». Чтобы его можно было наилучшим образом — более точно и экономно — передать по каналам связи, его надо соответственно закодировать. Информация не может существовать без материального носителя, без передачи энергии. Закодированное сообщение приобретает вид сигналов — носителей информа-

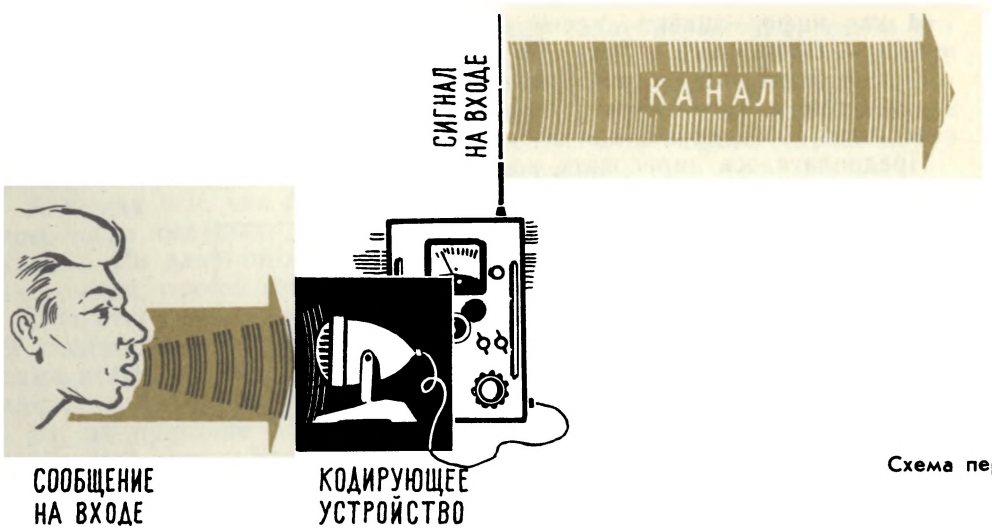


Схема передачи

ции. Они-то и текут по каналу. Выйдя на приемный конец канала связи, сигналы должны обрести вновь общепонятный вид.

С этой целью сигналы «пробегают» декодирующее устройство, становясь сообщением для абонента.

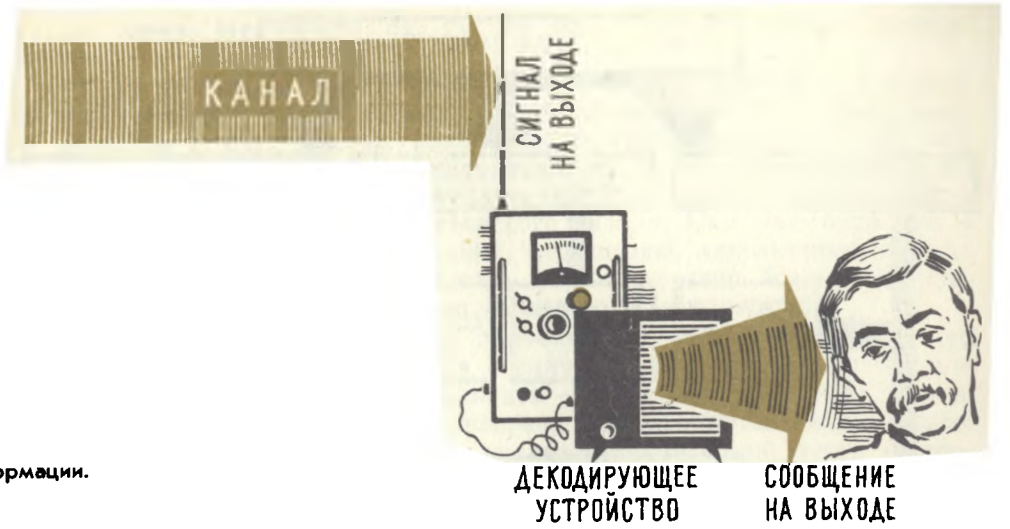
Система связи сработала, цель достигнута.

Мы все время говорим о каналах связи, о системах связи, беря для примеров чаще всего телеграф. Но каналы связи — понятие очень широкое, включающее множество всяких систем, самых разных, самых подчас неожиданных по своей неодинаковости. Чтобы ясен был многоликий характер понятия «канал связи», достаточно привести еще несколько примеров.

Давайте разберемся в телефоне именно с этой точки зрения. При телефонной передаче источник сообщения — говорящий. Кодирующее устройство, изменяющее звуки слов в электрические импульсы, — это микрофон. Канал, по которому передается информация, — телефонный провод. Телефон — та часть трубки, которую мы подносим к уху, — выполняет роль декодирующего устройства. Здесь электрические сигналы снова преобразуются в звуки. И, наконец, информация поступает в «принимающее устройство» — ухо человека на другом конце провода.

А вот канал связи совершенно другой природы — живой нерв. И здесь, как в технической системе, все сообщения передаются с помощью одного и того же процесса. Правда, если в технических каналах связи направление передачи информации может меняться, то по нервной системе передача идет в одном направлении.

Еще один пример — вычислительная машина. И здесь те же характерные черты. Отдельные системы вычислительной машины передают одна другой информацию с помощью сигналов. Ведь вычислительная машина — автоматическое устройство для



информации.

обработки информации, как станок — устройство для обработки металла. Машина не создает никакой информации, она преобразует только то, что в нее введено.

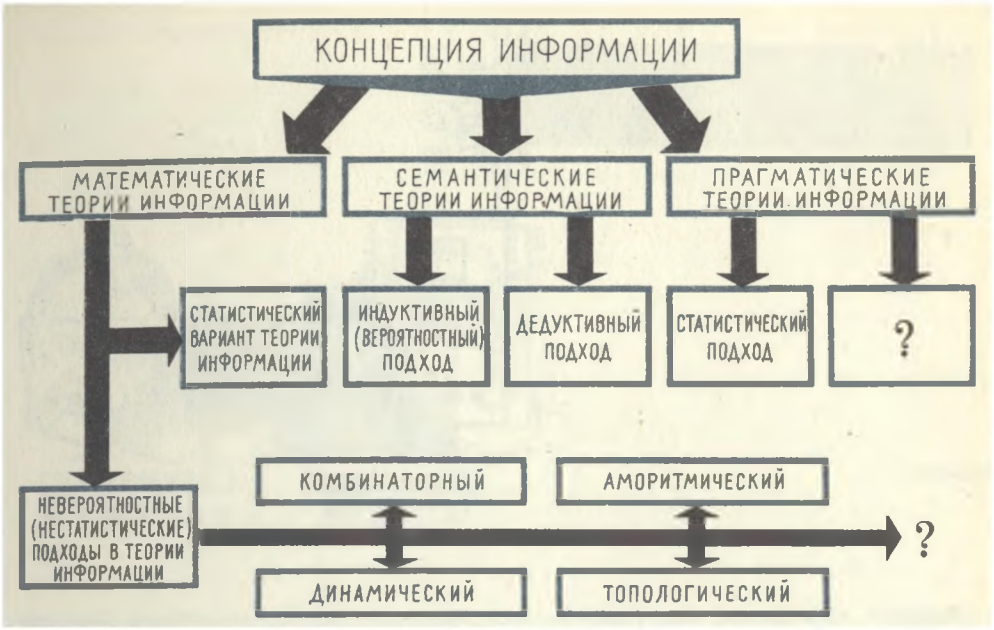
Мы уже знаем, что количественный подход — одно из направлений в теории информации — наиболее распространенный и наиболее разработанный. Существуют и другие подходы. Они, в противоположность количественному, стараются ухватить смысл информации, ее ценность, ее качество.

Действительно, далеко не редко случается, что количество информации в двух сообщениях может быть совершенно одинаковым, а смысл ее — разным. Два слова, например, «Мир» и «Рим» содержат одинаковое количество информации, состоят из одних и тех же букв, но смысл слов различен.

В повседневной жизни мы, как правило, оцениваем полученные сведения со смысловой стороны: новые сведения воспринимаем не как определенное количество информации, а как новое содержание.



«Рим» и «Мир» — два слова, содержащие одинаковое количество информации, но имеют различный смысл.



Суть этой сложной схемы раскрывается просто: в теории информации много методов и идей.

Посмотрите, есть ли информация — с этой точки зрения — в сообщении: «На Земле существует растительность»? Конечно, нет. Ведь здесь нет никакого нового содержания. Но вот вы передаете: «На Марсе есть растительность». Сообщение содержит информацию, потому что оно отражает вероятность знания, возможность явления, а не утверждает всем известное.

А можно ли вычислить смысл информации, подсчитать его в сообщении? Да, это пробует делать семантическая теория информации.

Вот еще один пример и еще одно направление (прагматическое — деловое) в этой науке.

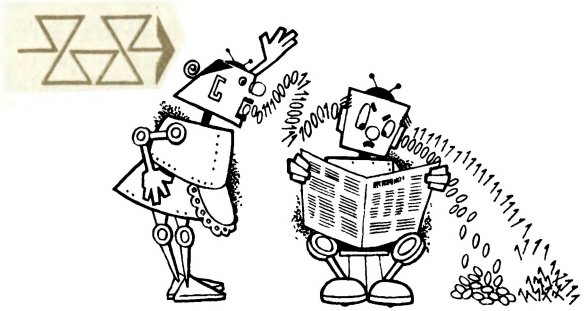
Пассажиры едут в автобусе. Водитель объявляет остановку. Кое-кто выходит, остальные не обращают внимания на слова водителя — переданную им информацию. Почему? Потому, отвечают специалисты, что информация здесь имеет разную ценность для получателей, в роли которых в этом примере выступают пассажиры. Вышел тот, для кого информация была ценна. Значит, ценность можно определить как свойство информации, влияющее на поведение ее получателя.

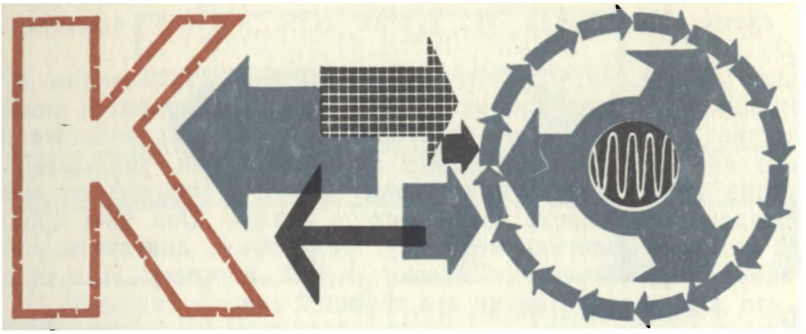
Чтобы представить себе сегодняшнее «состояние дел», познакомиться с системой методов, подходов, идей в теории информации, взгляни-

те на схему. Не правда ли, густая сеть, которой «ловят» информацию?

Однако ученые считают, что к современным направлениям в теории информации в будущем добавятся новые подходы, появятся новые идеи. В качестве доказательства правильности своих предположений они приводят «живой», развивающийся характер науки, указывают на то, что теория информации удивительно быстро и прочно внедряется в самые различные области человеческого знания. Она уже проникла в физику, химию, биологию, медицину, философию, лингвистику, педагогику, экономику, логику, технические науки, эстетику. Нельзя не признать, что для молодой науки это хороший старт.

Поэтому можно считать — по признанию самих специалистов, что учение об информации, возникнув в силу потребностей теории связи и кибернетики, перешагнуло со временем — и весьма скоро — их рамки. И теперь, пожалуй, мы вправе говорить об информации как о новом научном понятии, дающем в руки исследователей новый метод — теоретико-информационный, с помощью которого можно проникнуть во многие науки о живой и неживой природе, об обществе и познании, который позволит не только взглянуть на все проблемы с новой стороны, но и увидеть еще не увиденное.





КИБЕРНЕТИКА

Наука об общих принципах управления, о средствах управления и об использовании их в технике, в живых организмах и человеческом обществе.

ОБЩЕЕ В РАЗНОМ

Немногим более ста лет назад французский физик и математик Андре-Мари Ампер закончил обширный труд — «Очерки по философии наук». В нем знаменитый ученый попытался привести в стройную систему все человеческие знания. Каждой из известных в то время наук было отведено свое место в системе. В рубрику за номером 83 Ампер поместил предполагаемую им науку, которая должна изучать способы управления обществом.

Ученый заимствовал это название из греческого языка, в котором слово «кибернетес» означает «рулевой», «кормчий». А кибернетикой в Древней Греции называли науку о кораблевождении.

Между прочим, Ампер в своей классификации наук поместил кибернетику в разделе «Политика». Эта последняя, как наука первого порядка, делилась на науки второго и третьего порядков. Ко второму порядку Ампер отнес науку о сосуществовании, а кибернетику, науку об управлении, он определил в третий порядок.

Каждой науке соответствовал девиз в стихотворной форме на латинском языке. Кибернетику Ампер сопроводил такими словами, звучащими весьма символично: «...et secura cives ut pacè fruantur» («...и обеспечивает гражданам возможность наслаждаться миром»).

Долгое время после Ампера термином «кибернетика» никто из ученых не пользовался. По существу, он был забыт. Но вот недавно древнегреческое слово опять появилось в перечне научных дисциплин.

В 1948 году известный американский математик Норберт Винер опубликовал книгу под названием «Кибернетика, или Управление и связь в живых организмах и машинах». Она вызвала большой интерес ученых различных специальностей, хотя законы, которые Винер положил

в основу кибернетики, были открыты и исследованы задолго до появления книги.

Краеугольные камни кибернетики — теория информации, теория алгоритмов и теория автоматов, изучающая способы построения систем для переработки информации. Ее математический аппарат весьма широк: здесь и теория вероятностей, и теория функций, и математическая логика, и многие другие разделы современной математики.

В развитии кибернетики большую роль сыграли и биологические науки, изучающие процессы управления в живой природе. Но, конечно, решающим в становлении новой науки был бурный рост электронной автоматики и особенно появление быстродействующих вычислительных машин. Они открыли невиданные возможности в обработке информации и в моделировании систем управления.

Как в музыке стремятся «положить на ноты» все человеческие чувства и настроения, так и в кибернетике стремятся «положить на числа» все ситуации, происходящие в природе и в нашем сознании.

На протяжении столетий трудами математиков, физиков, медиков и инженеров — ученых разных стран, в том числе дореволюционной России и Советского Союза, — закладывался фундамент и формировались принципиальные основы кибернетики. Выдающееся значение для нее имели труды американских ученых К. Шеннона, Дж. Неймана и идеи нашего всемирно известного физиолога И. П. Павлова. Историки отмечают заслуги и таких выдающихся инженеров и математиков, как И. А. Вышнеградский, А. М. Ляпунов, Н. Н. Колмогоров. И правильно было бы говорить, что в 1948 году состоялось не «рождение», а «крещение» кибернетики — науки об управлении. Именно к этому времени с наибольшей остротой встал вопрос о повышении качества управления в нашем усложненном техникой мире. И кибернетика открыла дорогу применению точного научного анализа для решения проблем управления современными техническими средствами.

Теперь слово «кибернетика» вошло в моду. Оно не сходит со страниц технических, естественнонаучных и популярных журналов. О кибернетике пишут книги, читают лекции, ей посвящают научные семинары, сессии и международные конференции. В них участвуют математики и физики, биологи, физиологи и психиатры, экономисты и философы, инженеры различных специальностей. Всех объединяет общая цель: максимально автоматизировать процессы управления в различных сферах деятельности человека, повысить производительность его труда. Но для этого необходимо глубоко и всесторонне изучить объекты управления, найти закономерности, которым подчиняются процессы управления, раскрыть принципы организации и структуры управляющих систем. И неизбежно объектом самого пристального изучения, самого детального исследования становится живой организм: сам человек как управляющая система высшего типа, те или иные функции которой инженеры и ученые стремятся воспроизвести в автоматах.

Кибернетика изучает общие свойства, присущие различным системам управления. Эти свойства не зависят от их материальной основы. Они могут проявляться и в живой природе, и в органическом мире, и в коллективах людей.

Эта общность проявляется во многом, и прежде всего — в строении сложных динамических управляющих систем. Объект управления (будь то машина или автоматическая линия; предприятие или войсковое соединение; живая клетка, синтезирующая белок, или мышца; текст, подлежащий переводу, или набор символов, преобразуемый в художественное произведение) и управляющее устройство, мозг и нервная ткань живого организма или управляющий автомат обмениваются между собой информацией.

Повсюду осуществление процесса управления сопряжено с передачей, накоплением, хранением и переработкой информации, характеризующей управляемый объект, ход процесса, внешние условия, программу работы и т. д.

Разумеется, в различных системах могут быть различными по своей природе носители информации: звуковые, световые, механические, электрические, химические сигналы, документы, пленки. Однако, как мы уже знаем, вне зависимости от материального носителя информации процессы передачи ее подчиняются общим количественным закономерностям.

Характерной особенностью всех этих качественно столь различных систем является наличие в них обратных связей, несущих информацию об эффективности управляющего акта.

Наконец, сами управляющие устройства — живые и искусственные — включают в себя элементы, выполняющие сходные функции: восприятие информации, ее отбор, запоминание и т. д.

●

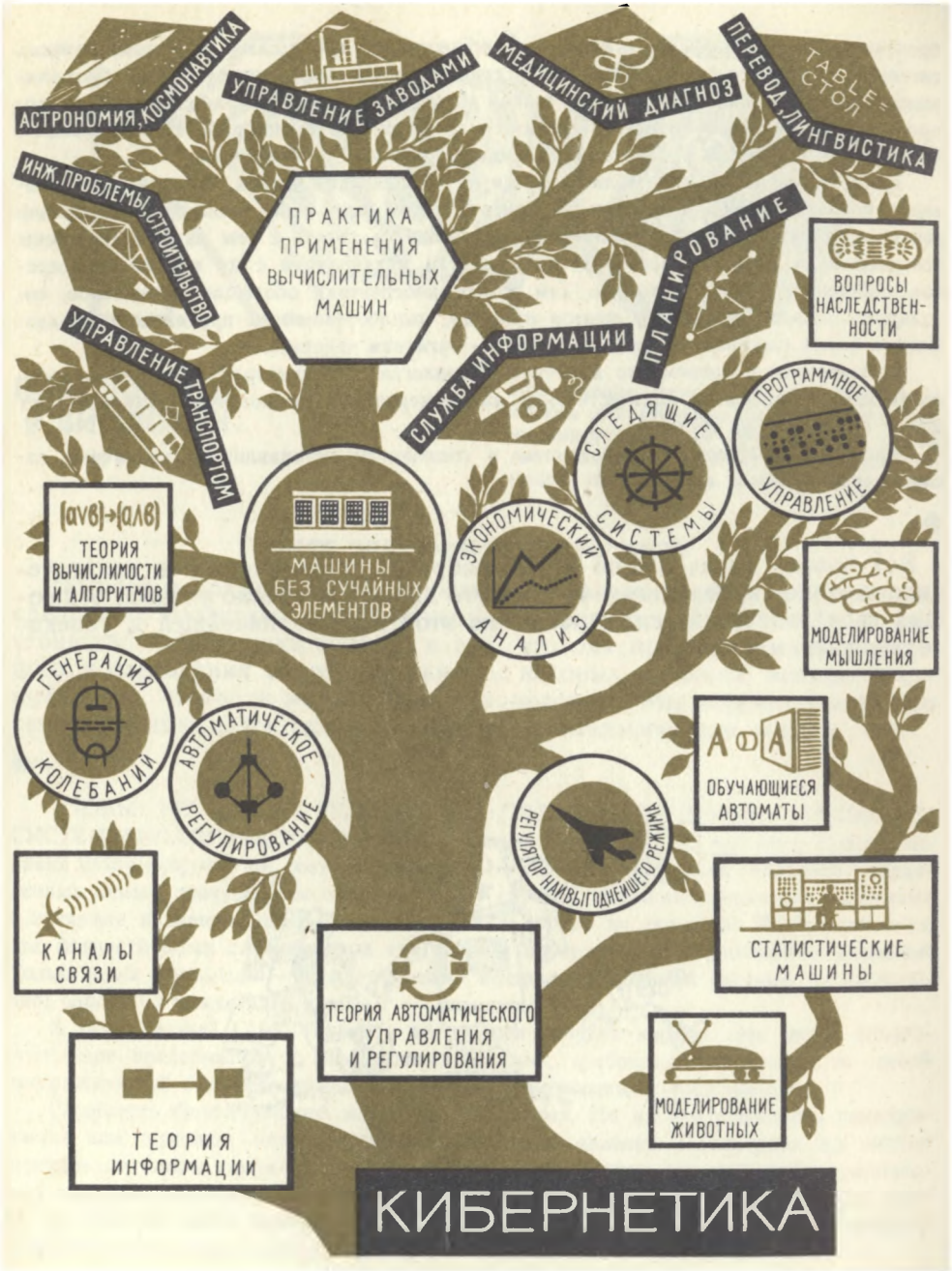
ПЕРЕД ВАМИ «ГЕНЕАЛОГИЧЕСКОЕ ДРЕВО» КИБЕРНЕТИКИ. Это наглядная иллюстрация того, как широк диапазон ее действия.

Кибернетику можно подразделить на теоретическую (математические и логические основы и философские вопросы), техническую (конструирование и эксплуатация технических средств, применяемых в управляющих и вычислительных устройствах), прикладную (приложения теоретической и технической кибернетики к решению конкретных задач управления в промышленности, энергетике, на транспорте, в службе связи и т. д.).

Поразительная аналогия между процессами управления в системах различной природы и послужила основой создания кибернетики, изучающей математическими методами управляющие системы и процессы управления.

Это определение кибернетики напоминает нам, что предмет ее исследования — прежде всего количественные закономерности, количественные соотношения в процессах управления.

Необходимо сразу же отметить, что кибернетика не отождествляет процессы,



Древо кибернетики.

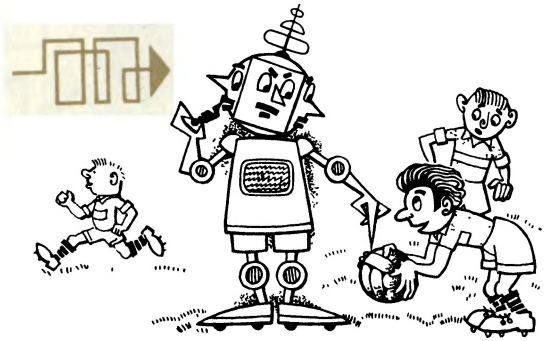
происходящие в живом организме или обществе, с процессами в автоматических системах. Кибернетику не интересуют специфические биофизические или биохимические процессы, свойственные лишь живой природе. Она ограничивается изучением вопроса о том, как живой организм и машина осуществляют переработку информации, связанную с процессом управления. То же и в сравнении с обществом.

Кибернетика ищет пути сближения двух управляющих систем. Она изучает мышление человека, чтобы создавать алгоритмы, более или менее близко описывающие деятельность этой живой управляющей системы. Она вместе с тем изучает принципы построения автоматов и исследует возможности механизации с их помощью процессов умственного труда человека. Тем самым кибернетика обогащает инженеров, создающих сложные автоматы, опытом природы, выработавшей на протяжении миллионов лет самое сложное, что есть на свете, — организм человека.

Кибернетика одновременно помогает физиологам и психиатрам в изучении этого организма, в раскрытии количественных закономерностей, по которым функционирует живая управляющая система.

Кибернетика помогает экономистам и социологам устанавливать различные закономерности.

Вот почему столь важно и многообразно теоретическое и практическое значение кибернетики. И день ото дня растет число ученых, отдающих свои творческие силы развитию этой перспективнейшей и увлекательнейшей науки.





КИБЕРНЕТИКА В БИОЛОГИИ

Применение методов и средств кибернетики для изучения живых организмов, моделирования их функций, а также для создания устройств, поддерживающих нормальную работу организма.

ЖИВОЕ ПОД «МИКРОСКОПОМ» ЧИСЕЛ

Разговор о применении кибернетики в биологии начнем с признания, сделанного известным кибернетиком и физиологом У. Р. Эшби: «...достоинство кибернетики состоит в том, что она предлагает метод научного исследования систем, сложность которых слишком велика и существенна, чтобы ее можно было игнорировать. Мы хорошо знаем, что такие системы даже слишком обычны в биологическом мире!»

●

ЧТОБЫ НЕ ХОДИТЬ ДАЛЕКО ЗА ПОДТВЕРЖДЕНИЯМИ СЛОЖНОСТИ СИСТЕМ БИОЛОГИЧЕСКОГО МИРА, возьмем головной мозг человека. Совсем недавно считалось, что он состоит примерно из 12—14 миллиардов нейронов, соединенных самым причудливым образом между собой и связанных нервными волокнами с органами и тканями тела. Сложная система, ничего не скажешь! Но, оказывается, эта фантастическая сложность не так сложна по сравнению с новейшими данными! Только один мозжечок — «диспетчерская» центральной нервной системы — насчитывает около 100 миллиардов клеток.

А сама клетка? Опять-таки это не простая «ячейка жизни». Это целое «многоотраслевое предприятие» с различными «цехами», «рабочими участками», со своей «энергетической базой», «службой времени», «транспортными средствами»...

Сложность биологического мира признана всеми. Но на эту сложность накладывается еще огромная изменчивость биологических явлений. Посмотрите на листья деревьев на одном каком-нибудь дереве. Разве вы увидите два совершенно одинаковых по форме и размеру? А ученый, когда берет для опыта мышь или лягушку, разве он надеется найти одинаковое состояние внутренних органов, даже если возраст и вес животных совершенно одинаковы?

К

Или еще пример. Рост человека считается относительно простым признаком. Но как он изменчив! Наименьший известный рост взрослого человека равен 38 *см*, а самый большой — 283 *см*!

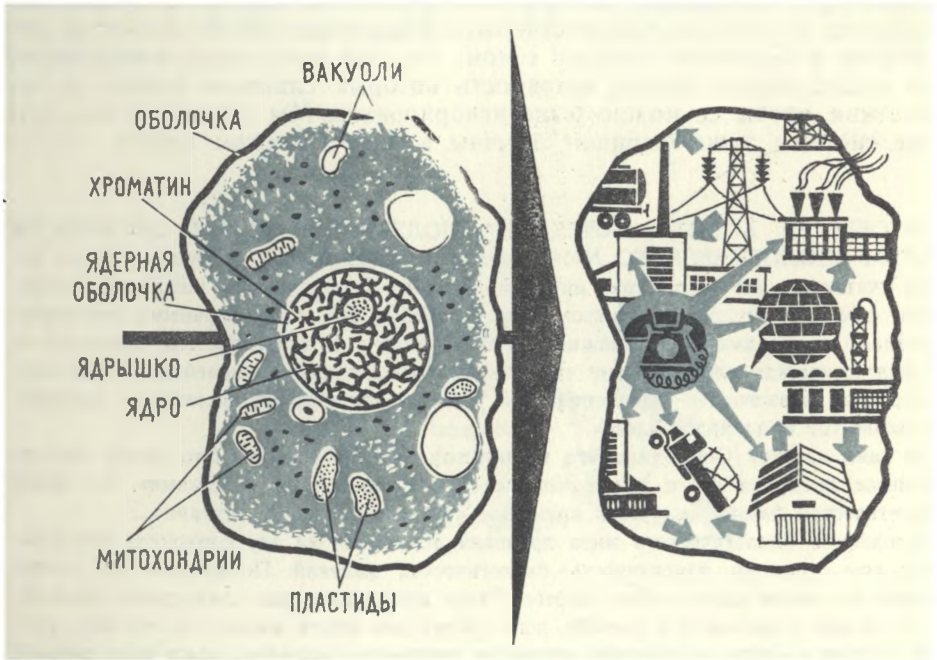
Поднимемся еще на одну ступеньку трудности в биологическом мире: к сложности и изменчивости добавим динамику — постоянное движение, постоянную работу.

В живом организме непрерывно координируется работа отдельных органов, собираются сведения о состоянии системы, об условиях внешней среды, поддерживается постоянная температура, давление.

Сложность, изменчивость, динамика — вот самые большие трудности при изучении организма. Биологи и не скрывают, что с завистью смотрят на диаграммы физиков, химиков, инженеров: точки, полученные во время опытов, ложатся на этих диаграммах последовательно, и глаз специалиста сразу схватывает закономерность явления.

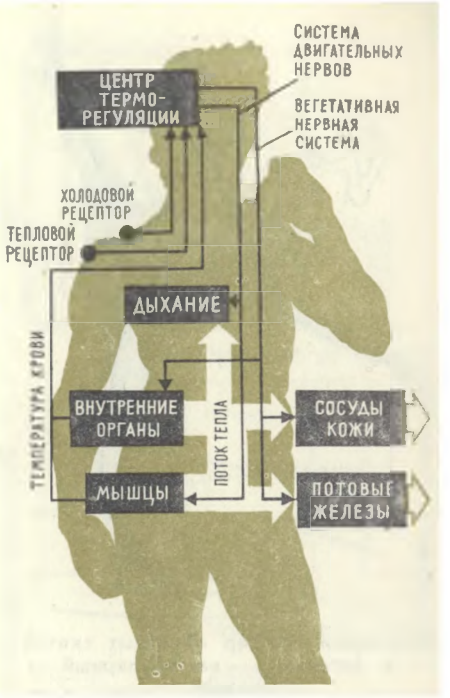
Сложность живого — как трудно ее охватить, описать, зафиксировать четкими точками на диаграмме! И вот в этот «нелегкий», «запутанный» мир входит кибернетика. Она входит в биологию через две «главные двери», делится на два основных направления: теоретическое и прикладное.

Уже само подразделение как бы очерчивает сферы деятельности кибернетики в биологии: цель теоретических исследований — разработка проблем, связанных с изучением и описанием различных управляющих функций, управляющих «движений»



Живую клетку можно уподобить многоотраслевому предприятию.

в организме. Это своего рода «внутренняя» кибернетика. Она старается разобраться, как внутри организма действуют различные управляющие и управляемые системы, по каким каналам связи идут сигналы о том или ином действии.



Способность организма человека поддерживать постоянную температуру тела — результат сложных процессов регулирования.

Огромное внимание уделяют ученые исследованию саморегуляции в организме, работе обратных связей. Роль их видна из слов одного биолога, который утверждает, что где возникла первая обратная связь и первый процесс регулирования, там возникла и первая жизнь: недаром саморегуляция признана всеобщим законом организма.

Кибернетика приходит здесь на помощь, вооружая биологов бесценным в данном случае методом математического моделирования. В Институте биофизики АН СССР и в Институте кибернетики АН УССР с помощью этого метода изучают роль обратной связи в биохимических процессах на молекулярном уровне. А латвийским ученым захотелось заглянуть внутрь «белкового комбината», исследовать все тайны его «автоматики». Например, узнать, как происходит сложнейший биологический процесс — синтез белка внутри клетки. Для этого ученые построили несколько программ, а затем ввели их в машину и «просчитали» клетку «вдоль и поперек». Иными словами, ученые построили электронную модель клетки. Такой подход к делу очень помог в исследовании: ученые сумели ответить и на поставленные вопросы, и, кроме того, они попытались «увидеть в машине», как клетка отвечает на взаимодействие с ней вируса, как отзывается на всякие лекарственные «атаки».

Кибернетики завели даже целый «электронный зверинец». В нем обитают и «черепахи», и «мыши», и «собаки». И все это для того, чтобы можно было «приблизиться к натуре», увидеть механизмы рефлексов животного: как они возникают, как закрепляются.

Познакомимся со старожилами необычного «зверинца».

Вот знаменитые «черепахи» английского инженера и психиатра Грея Уолтера. Их клички Кора, Эльмер и Эльси. Цель их появления на свет



Наглядный пример обратных связей в организме — вестибулярный аппарат.

сформулирована жестко: создать условную неживую модель одного из основных свойств живого существа — способности осуществлять обмен энергией с внешней средой и изменять этот обмен в зависимости от изменений, происходящих во внешнем мире.

Что же умеют делать «черепахи»? Они умеют осязать и обходить препятствие. Встречаться друг с другом. Расходиться в стороны. Даже танцевать.

А на каком принципе они работают?

«Идея «электронной черепахи» изящна и остроумна, — говорит исследователь. — Представим себе фотоэлемент, вырабатывающий электрический ток, которым заряжается небольшой аккумулятор. Если перед фотоэлементом достаточно долго горит лампа, наступает момент, когда дальнейшая зарядка приведет к порче системы. Возникает необходимость что-то выключить — лампу или фотоэлемент. Это естественное свойство системы, условие его исправного существования.

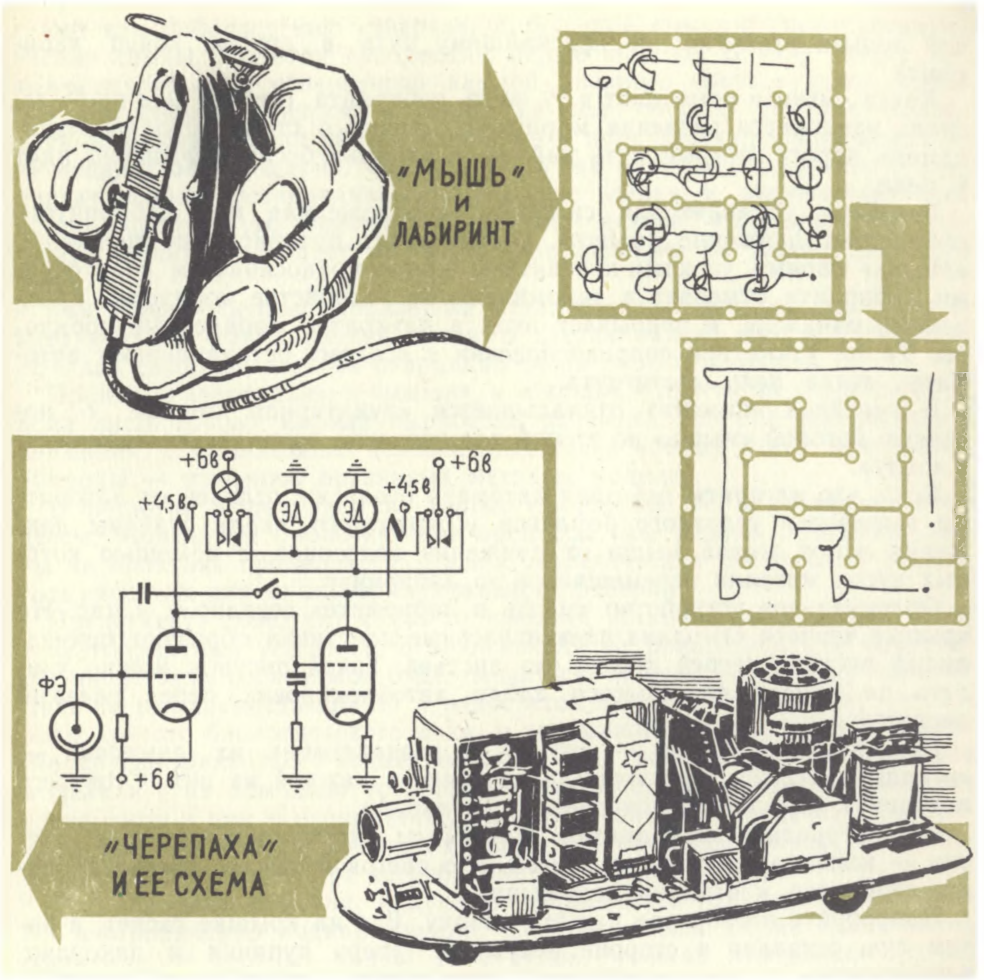
Изберем другой путь: поставим систему на колеса, снабдим ее двигателем и органом автоматического управления, которые, работая вместе и пользуясь энергией аккумулятора, уведут в нужный момент систему от света. И наоборот: когда в аккумуляторе останется мало запаса энергии, пусть орган управления заставит систему вернуться к источнику света и тем даст возможность восстановить энергетические запасы.

Принципиальный интерес заключается в том, что такая система не нуждается в управлении со стороны и все ее действия вытекают только из ее внутреннего состояния».

Соперницами «черепах», бесспорно, являются «мыши», построенные американским ученым Клодом Шенноном.

...Разъемный алюминиевый лабиринт. 25 квадратов — по 5 в каждом ряду. В камере приманки — «сало» в виде металлического столбика. Модель приводится в действие, и «мышь» начинает двигаться по лабиринту в поисках «сала».

Перед глазами похожая на предыдущую картина: «мышь» блужда-



Электронный «зверинец» позволяет нащупать методы изучения организмов с помощью моделей.

ет по лабиринту, заходит в тупики, натыкается на перегородки. Ударяясь о стенки лабиринта, она меняет направление, неизменно приближаясь к «салу», которого не может отведать, которым не может насладиться. Наконец «мышь» заходит в камеру приманки — цель достигнута.

Потом «мышь» пускают по лабиринту вторично. На этот раз она не блуждает, не натыкается на стенки, а легко и свободно, лучше,

чем живая, пробегает по кратчайшему пути в другой конец лабиринта.

Когда «мышь» помещают в ту часть лабиринта, где она еще не была, снова начинается разведка маршрута, толчки о стенки. Но вот «знакомая» дорога, старый путь найден, и «мышь» беспрепятственно идет к цели.

Релейная управляющая система, расположенная под лабиринтом, направляет движение «мыши», обеспечивает предписанные повороты. «Мышь» своими усиками-контактами при соприкосновении со стенками лабиринта отмечает в запоминающем устройстве коридоры, пройденные однажды, и закрывает вход в двукратно пройденные коридоры. Те же усики при соприкосновении с «салом» останавливают автоматы, когда цель достигнута.

В релейной «памяти» откладывается «пунктирная линия», с помощью которой «мышь» во второй раз уверенно приходит по лабиринту к «салу».

Ясно, что алгоритм действия автомата столь же отличен от алгоритма выработки условного рефлекса у животного, сколь отличны движения лапок живой мыши от движения колесиков, с помощью которых кусок металла перемещается по лабиринту.

Оригинальное устройство «мышь в лабиринте» создано и у нас. На крышке черного чемодана плексигласовые пластинки образуют причудливый рисунок ветвей дерева без листьев. Такой рисунок можно увидеть на панели светящегося табло автоблокировки перед глазами диспетчера.

Полоски плексигласа — «пути», а разделяющие их лампочки — «станции». Их 25. Выключатель соединен с каждой из них. Стоит его повернуть, как загорается одна из «станций».

Вот загорелась тринадцатая. Нажимаем кнопку, и полоски — «пути» — вспыхивают одна за другой. Это световой сигнал, обегая тупички, стремится к станции назначения.

Попробуйте второй раз нажать кнопку. Все на крышке гаснет, а затем луч, оставляя в стороне ненужные теперь тупички и закоулки, устремляется по наикратчайшему пути прямо к тринадцатой станции.

В левом углу крышки мерцает красный глазок — это индикатор памяти. Он отмеряет время, в течение которого аппарат запоминает маршрут.

Вот еще один представитель этого необычного «зверинца» — электронная «белка». Она поставлена на тележку с моторчиком и снабжена двумя чувствительными фотоэлементами, фильтром, который может различать постоянный и переменный ток, и другими приспособлениями.

У «белки» две лапки. Сдвигаясь, они образуют чашечку. Внутри чашечки помещен язычок. За «белкой» по полу волочится металлический хвостик.

Вот как работает этот «зверек». В большой комнате горят электрические лампы. По полу разбросаны белые шарики. В углу лежит металлический лист, освещенный лампой дневного света, — здесь «гнездо» «белки». Ее приносят и ставят на пол. «Белка» начинает блуждать по комнате, пока ей «на глаза» — в поле зрения фотоэлемента — не попадет белый шарик. «Белка» сразу же направляется к нему, раздвигая лапки. Останавливается, сдвигает лапки и захватывает ими шарик, пробует его язычком и начинает искать «гнездо». Электрический фильтр позволяет ей взять направление на лампу дневного света.

Как только «белка» заползет на металлический лист, ее хвост замыкает контакт, лапки раздвигаются, и шарик падает на лист-«гнездо». «Белка» свободна и снова отправляется на поиски шариков.

Правда, и «черепахи», и «мыши», и «белки», и другие их «собратья» — пока лишь грубые модели выработки рефлекса. Но они заслуживают внимания: с их помощью человек подошел к новому этапу в изучении природы — изучению организма методом моделей.

В биологии моделируют не только организмы, но и различные процессы. Моделируя биологические процессы, мы можем проверять как бы на практике правильность наших теоретических построений, выдвигать гипотезы для их экспериментальной проверки.

Представьте себе, что какая-то колония живых организмов обитает в благоприятных условиях. В зависимости от рождаемости и смертности число этих организмов будет меняться. А как? По какому закону? Ведь на рождаемость влияет и недостаток пищи, и притеснение со стороны другого биологического вида, и продолжительность жизни, и многие другие факторы. Ученые построили так называемые абстрактные модели и с их помощью установили точные закономерности развития организмов и при неограниченных ресурсах питания и места, в условиях, когда отсутствуют вредные виды, и при условиях голода, недостатка места для жилья и при истреблении со стороны врагов.

Такая модель помогла, например, выращивать грибки пенициллина. Их неограниченно подкармливали, следили, чтобы им не было тесно, оберегали от вредных видов. А будущий урожай совершенно точно предсказывали по специальной формуле.

Интересна модель стабилизации численности двух видов, один из которых по отношению к другому является хищником, — модель «жертва — хищник». Забегая вперед, скажем, что это не что иное, как математическое доказательство пользы от хищников.

Допустим, мы решили начисто истребить волков, чтобы увеличилась численность жертвы — травоядных животных. Модель показала: истребление хищников может привести к кратковременному бурному росту численности жертвы, но затем последует резкое сокращение и почти полное ее исчезновение. Действительно, биологи заметили: в тех местах, где волки были истреблены, ухудшились стада травоядных.

Среди них чаще появлялись больные, мельчало потомство. Оказывается, волки выполняли своеобразную санитарную работу, уничтожая неполноценных особей.

Как видите, моделирование биологических процессов помогает разбираться в сложной системе связей между видами, помогает ученым предвидеть последствия вмешательства человека в дела природы.

Все, о чем рассказано выше, — явления в биологии в некоторой степени непривычные. Сегодня рядом со словом «биология» основательно стали слова «кибернетика», «математика», «вычислительная машина». Одна из старейших наук — биология, зародившаяся как наука описательная и экспериментальная, смело взяла на вооружение самое современное из арсенала научных средств: методы абстрактного анализа, отвлеченных, умозрительных рассуждений, точный расчет. Биология теперь даже не боится громоздких математических выкладок.

Можно сказать, что мы присутствуем при возникновении новой биологии. Она стремительно развивается благодаря многообещающим открытиям в молекулярной биологии, в биохимии, в биофизике, в цитологии, в генетике; благодаря возникновению в ней новых, неожиданных направлений — биостатистики, биоматематики, теории систем.

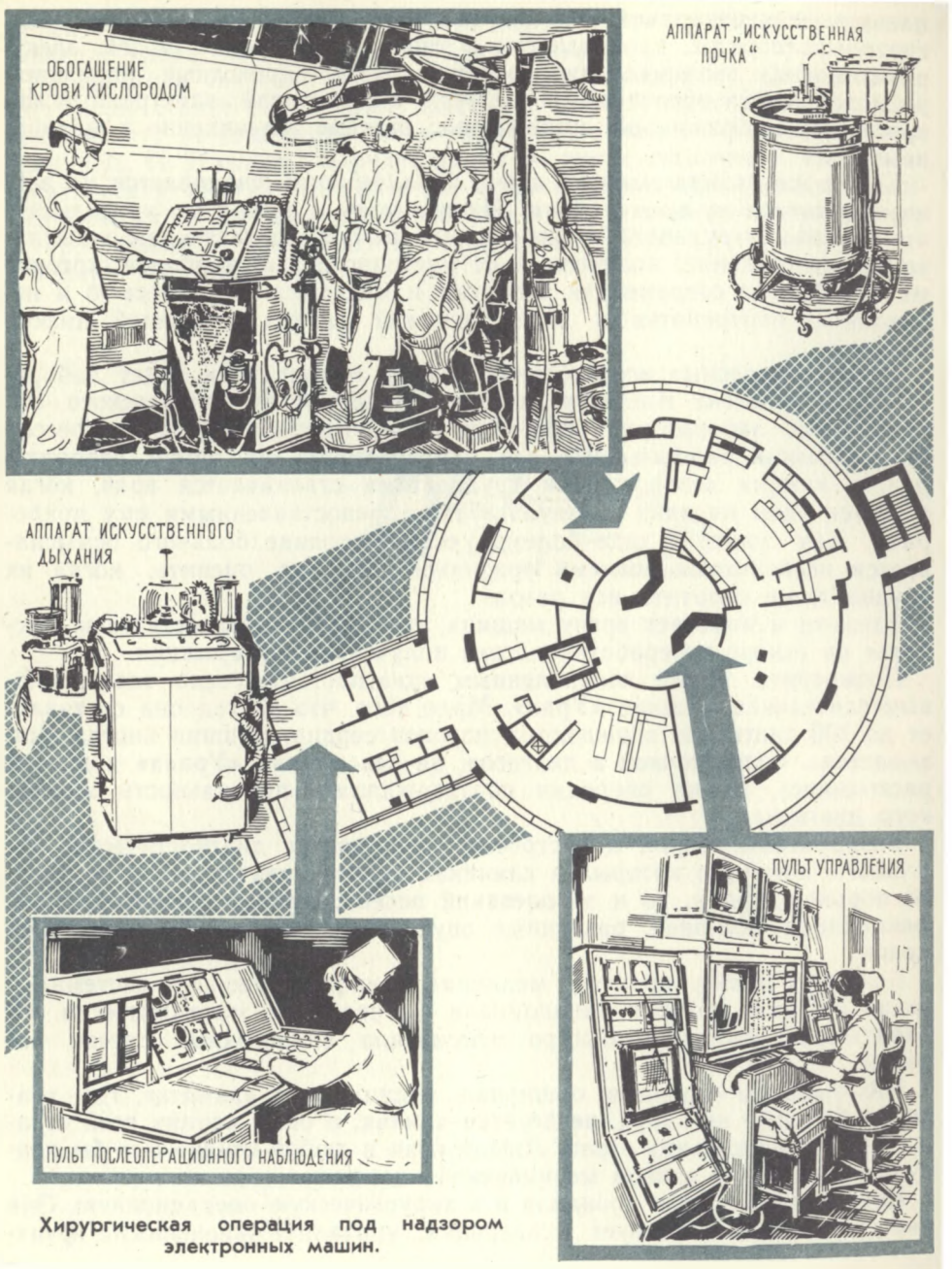
Помимо теоретических исследований, кибернетика в биологии занимается непосредственно практическими работами. Это ее другая ветвь — прикладная, которая непосредственно соприкасается с кибернетикой в медицине.

Естественно, все области прикладной кибернетики в биологии охватить трудно, поэтому выделим главные цели «кибернетического удара», основные направления «атаки».

Вернемся снова к математическому моделированию. С помощью специальных уравнений можно описать, как протекает фотосинтез растений — процесс поглощения организмом солнечной энергии. Ученые разрабатывают математические модели процессов видообразования, кровообращения в организме и т. п.

Но подойдем к математическому моделированию с другой стороны. Найдя для «биологического объекта» нужную, удачную, удобную модель, можно эксперимент, который часто приводит к гибели животного или связан с риском для здоровья человека, заменить расчетом на электронной вычислительной машине. Надо ли перечислять преимущества такого подхода? Они ясны всем. А результат? Результата можно ожидать великолепного: математические модели в течение нескольких минут покажут, как будет развиваться болезнь у больного, как подействует на организм то или другое лекарство.

Мы уже знаем, что основой кибернетики служат сбор и переработка информации. Поэтому немаловажную роль в биологии играет создание электронных приборов для сбора информации о процессах, происходящих в организме. Для этого изобретены удивительные сверхчувствительные, сверхтонкие, всюду проникающие приборы. Достаточно



Хирургическая операция под надзором электронных машин.

назвать электрокардиографы, изучающие деятельность сердца; электроэнцефалографы, проникающие в тайны деятельности мозга; электромиографы, записывающие работу мышц; крохотные «пилюли»-радиозонды для обследования желудка и кишечника; электронные микроскопы; телевизионные микроскопы; цветное телевидение в медицине и т. д.

Какая же лавина данных, цифр, характеристик сваливается на экспериментатора во время опыта! Иногда ученые с горечью признаются, что основные трудности — отнюдь не опыт, а последующее осмысливание тех сведений, полученных от многочисленных приборов, которыми так богаты современная биология и медицина. Вот здесь-то и необходимы переработка и автоматический анализ собранной информации.

Очень интересные исследования в этом направлении ведет лаборатория кибернетики Института хирургии имени А. В. Вишневского. Руководители лаборатории академик А. И. Вишневский и профессор М. Быховский рассказывают, что они убедились на опыте лаборатории, с какими невероятными трудностями сталкивается врач, когда остается один на один с результатами, предоставленными ему приборами. Как судить о ходе болезни, если состояние больного осмысливается несколькими сотнями признаков! Как их оценить, когда их трудно даже охватить все разом!

Здесь-то и помогает врачу машина, способная «диагностически мыслить» на основе переработки потока полученной информации.

Посмотрите, каким великолепным «диагностом» стала электронно-вычислительная машина «Урал». Мало того, что за год она составляет до 200 диагнозов врожденных пороков сердца, машина иногда оказывается... более точной в диагнозе: не раз мнения «Урала» и врачей расходились, но на операции подтверждалась правильность машинного диагноза.

Разработаны теории и построены медицинские диагностические системы, с помощью которых в клиниках врачи ставят диагноз не только пороков сердца, но и заболеваний печени, желудка, некоторых инфекционных болезней, различных опухолей, в том числе и опухолей мозга.

Большую пользу принесет медицине и информационная система — такая система, которая накапливала бы сведения, математически обрабатывала материал, быстро отыскивала аналогичные случаи болезни.

Это была бы огромная, обширная медицинская «память», где хранился бы опыт не одной, не десятка клиник, а опыт клиник всей страны и даже нескольких стран. Любой врач в любой стране мог бы консультироваться у единой медицинской «памяти».

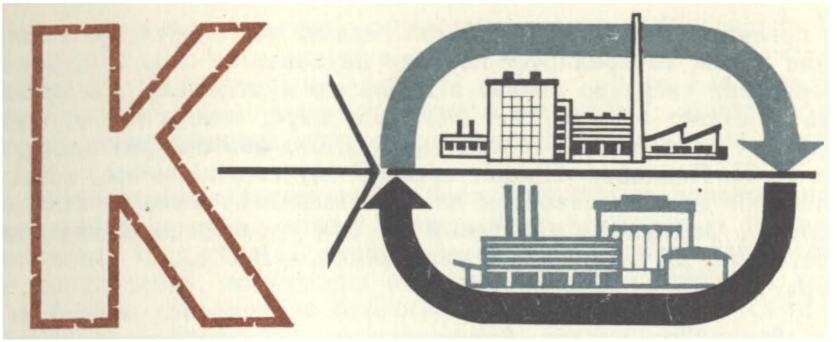
Кибернетика теперь проникла и в хирургическую операционную. Она непосредственно участвует в операции, управляет жизненными функ-

циями организма: следит за работой сердца, регулирует артериальное давление крови, контролирует глубину наркоза.

Кибернетика уверенно входит в биологию и медицину. Со временем поступь ее станет еще тверже, шаги все шире, успехи все значительнее. Как тут не вспомнить слова знаменитого нашего физиолога, академика И. П. Павлова: «Придет время — пусть отдаленное, когда математический анализ, опираясь на естественнонаучный, осветит величественными формулами уравнений все эти уравновешивания» (жизнь от простейших до сложнейших механизмов. — *В. П.*).

Теперь это время пришло.





КИБЕРНЕТИКА В ЭКОНОМИКЕ

Применение методов и средств кибернетики — математических методов и электронных вычислительных машин — при анализе экономики и выработке оптимальных (наилучших) решений для управления производством и народным хозяйством.

С ФОРМУЛАМИ СКВОЗЬ ДЕНЬГИ И ТОВАРЫ

Начнем этот рассказ с задачи. Завод, производящий партиями определенные детали, получает заказы на несколько месяцев раньше, чем надо их отправить заказчику. Завод может выполнять задание и в тот месяц, когда детали надо отправлять, и в более ранние сроки, если это по каким-то причинам выгодно заводу, а потом хранить их до срока. Но хранение деталей требует затрат. Вот и спрашивается, как организовать производство и хранение деталей, чтобы затраты на весь планируемый период были минимальными?

Не правда ли, сразу не решишь, как должен поступать при таких условиях завод.

Может быть, взять другую задачу — попробовать распределить детали для обработки на станках?

Оказывается, и это нелегко. Так, при распределении трех деталей по трем станкам количество вариантов распределения будет равно 108. Если распределять четыре детали между четырьмя станками, количество вариантов возрастет до 8272.

Эти примеры приведены здесь не случайно: подобного рода задачи приходится каждодневно решать экономистам, плановикам, диспетчерам, чтобы найти наилучший, или, как говорят, оптимальный, вариант в каждом конкретном случае.

Вот перед экономистом возникает обычный для него рабочий вопрос: как рационально распределить задания по выработке тканей между фабриками? Значит, он должен так спланировать использование ресурсов всех фабрик, чтобы они дали максимальное количество продукции,

причем ее себестоимость должна быть самой низкой, иными словами — план должен быть оптимальным.

План в данном случае должен отвечать на следующие вопросы:

Какие ткани, сколько и на каких станках нужно производить каждой фабрике?

Сколько всего разных тканей могут дать все фабрики? Какой при этом будет процент выполнения задания? Будет ли перевыполнение или недовыполнение?

Какова себестоимость тканей на отдельной фабрике и всех вместе?

От каких типов станков зависит выполнение задания?

Нужно ли вводить новые станки?

Чтобы решить задачу, потребовалось бы очень много времени, даже если бы мы распределяли три артикула тканей между тремя фабриками (вспомните пример с деталями и станками — 108 вариантов). Но чтобы все-таки выступить в роли плановиков, решим одну задачу подобного «профиля».

НА ТРИ ПРИСТАНИ ПРИВОЗЯТ НА БАРЖАХ ПЕСОК. Обозначим эти пристани I, II, III. Песок нужен для строительства четырех объектов. Назовем их А, Б, В, Г.

Чтобы решить эту задачу, нам понадобится сделать таблицы. Сначала обратимся к первой. В крайнем правом столбце дано нужное на день количество песка — 30 *т*. В нижней строке — пропускная способность каждой пристани. Объемы расхода



и поставок сбалансированы. В клеточках указано, сколько километров между пристанями и строительством объектов.

Нам надо отыскать решение, которое бы так распределило песок с каждой пристани на каждую стройку, чтобы тонно-километры при автоперевозках были наименьшими.



	I	II	III
А			5
Б		3	6
В	1	8	
Г	7		

	I	II	III
А		1	4
Б		9	
В	8	1	
Г			7

	I	II	III
А		5	
Б	3	6	
В	5		4
Г			7

Диспетчер автобазы распределил перевозки, как показано на второй таблице (в клеточках — количество песка с соответствующей пристани на соответствующие стройки). Все стройки при таком распределении получали нужное количество песка. А объем перевозок? Подсчитаем: $1\times1+7\times2+3\times4+8\times5+5\times7+6\times8=150$ тонно-километров.

Но бесспорно лучшим будет распределение, приведенное в третьей таблице. Здесь количество тонно-километров снижено в полтора раза: $8\times1+1\times2+9\times4+1\times5+4\times7+7\times3=100$.

А вот и самый лучший, оптимальный вариант решения задачи, дающий объем перевозок в 1,7 раза меньше по сравнению с первым. Он записан в четвертой таблице.

Видите, сколько хлопот с решением «простой» экономической задачи, когда и задача конкретна, и вариантов мало, и цифры невелики.

Теперь все понимают, что даже семейный бюджет нелегко рассчитать на месяц-другой вперед с точностью хотя бы до рубля. Для предприятия же экономический расчет во сто крат сложнее. А подобные расчеты для группы предприятий, для какой-либо отрасли производства или же в масштабе всей страны?!

Попробуйте представить себе после этого всю масштабность экономических расчетов для такого народного хозяйства, каким является вся совокупность производства у нас в СССР!

Посмотрите, в какие цифры экономии «выливается» составление оптимального плана в пределах страны только по одной отрасли строительства. Оптимальный план размещения цементных заводов на территории нашего государства позволил сократить среднюю дальность перевозок с 565 *км* до 305 *км*. Это дало 140 миллионов рублей экономии в год. Кроме того, оказались ненужными намеченные к строительству неудобно расположенные заводы. Это позволило сэкономить еще 192 миллиона рублей.

Подобного рода экономические задачи решают с помощью так называемого линейного программирования, разработанного советским ученым Л. В. Канторовичем.

Общую идею линейного программирования попытаемся пояснить на простом примере.

Организму человека для нормальной жизнедеятельности надо полу-

чать ежедневно определенное количество питательных веществ: жиров, белков, углеводов, витаминов, минеральных солей и т. д. Эти нормы по 15 видам питательных веществ установлены медицинской наукой на основе всесторонних исследований. Необходимые организму питательные вещества содержатся в тех или иных количествах в различных продуктах: хлебе, молоке, рыбе, овощах, фруктах, крупах — таких групп можно насчитать 40—50.

Возникает естественный вопрос: каким должен быть набор продуктов питания, чтобы полностью удовлетворять физиологическим потребностям организма и вместе с тем быть минимальным по цене? Речь, таким образом, идет о самом дешевом и в то же время полноценном, с медицинской точки зрения, питании.

Итак, надо выбрать из 50 групп продуктов питания набор, содержащий требуемые для организма 15 питательных веществ. Критерий оптимальности — цена набора. Она должна быть минимальной. На языке математики это означает, что нужно решить систему из 15 уравнений с 50 неизвестными!

Такие системы, где число неизвестных больше, чем число уравнений, имеют бесконечное множество решений. А нужно выбрать одно — наилучшее!

Для нашего примера можно ограничиться более скромной задачей: всего только двумя продуктами питания — хлебом и молоком и двумя видами питательных веществ — белками и кальцием.

Вот небольшая табличка, в которой указано, сколько белка и кальция содержится в килограмме хлеба и литре молока.

	Хлеб (*кг*)	Молоко (*л*)
Белок (*г*)	60	40
Кальций (*мг*)	250	1200

Организм должен получать в день не меньше 100 *г* белка и 700 *мг* кальция.

Теперь надо вспомнить системы алгебраических уравнений.

Обозначим искомое количество хлеба в наборе через x_1, а количество молока через x_2. Коэффициенты a_1 и b_1 в первом уравнении — это, соответственно, содержание белка в килограмме хлеба и литре молока, а коэффициенты a_2 и b_2 второго уравнения — содержание кальция в тех же продуктах.

Мы знаем: чем больше хлеба и молока в наборе, тем пропорционально больше содержится в нем питательных веществ. Следовательно, за-

висимость здесь линейная, и мы снова имеем дело с системой линейных уравнений. Вот как она теперь выглядит:

$$60x_1 + 40x_2 \geqslant 100,$$
$$250x_1 + 1200x_2 \geqslant 700.$$

Знак $\geqslant$ означает «больше или равно». Здесь он имеет принципиальное значение. Если бы количества белка и кальция были строго регламентированы (в точности 100 *г* и 700 *мг* — ни больше и ни меньше), тогда в нашем примере все было бы ясно.

Два уравнения, две неизвестные величины. Такая система уравнений имеет единственное решение, и ни о каком оптимальном выборе не может быть речи. Все дело, однако, в том, что по условиям задачи организм может получать в день больше, чем 100 *г* белка и 700 *мг* кальция. А это дает возможность широкого выбора. Число возможных вариантов становится неограниченным.

Между прочим, в этом нетрудно убедиться. Написанные выражения очень просто превратить в равенство. Нужно только в каждое условие ввести еще по одной неизвестной величине, которая выравнивала бы его:

$$60x_1 + 40x_2 - x_3 = 100.$$
$$250x_1 + 1200x_2 - x_4 = 700.$$

Вот мы и получили систему из двух уравнений с четырьмя неизвестными. Здесь может быть бесконечное множество решений — в зависимости от того, какое значение мы будем давать переменным x_3 и x_4.

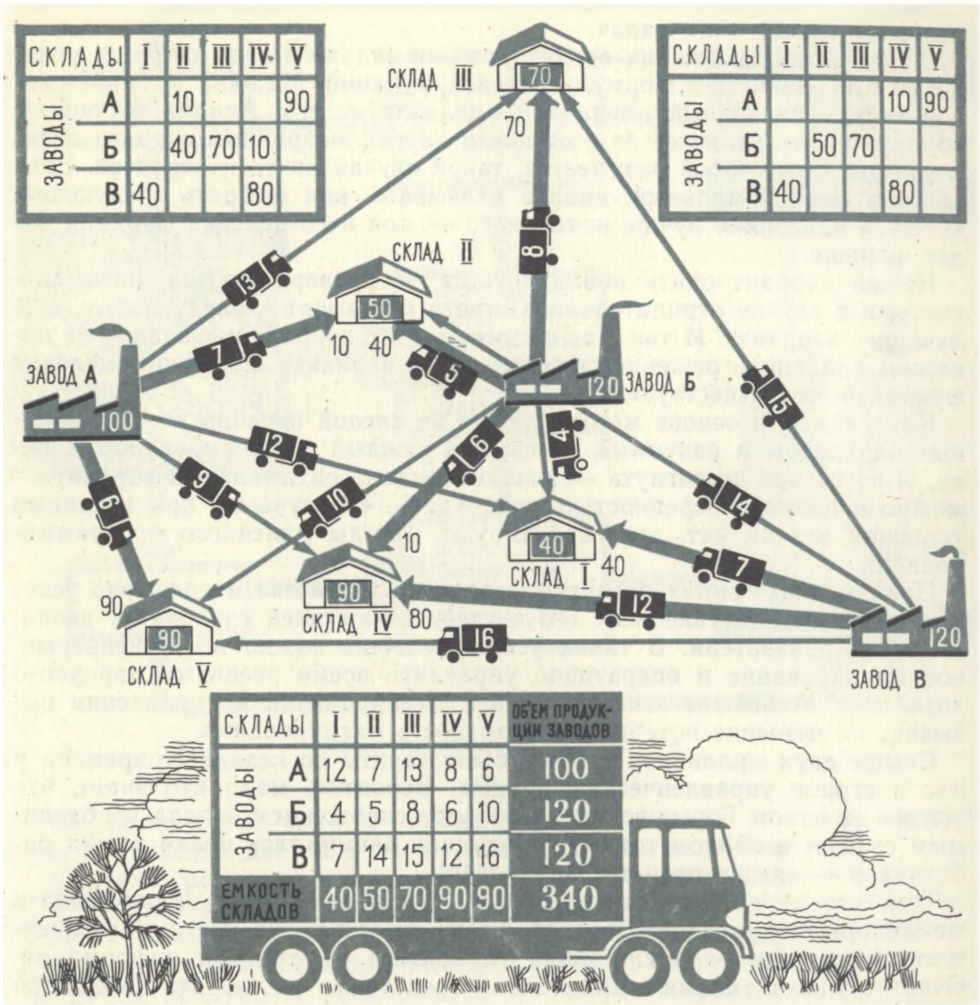
Остается лишь добавить, что по вполне понятным причинам из всего многообразия возможных решений нас интересуют лишь такие, где x_1 и x_2 имеют неотрицательные значения — хлеб и молоко отрицательными быть не могут.

Допустим, килограмм белого хлеба стоит 21 *коп.*, а литр молока — 28 *коп.* Следовательно, стоимость набора из x_1 килограммов хлеба и x_2 литров молока равна:

$$C = 21x_1 + 28x_2.$$

Это математическое выражение в линейном программировании называют целевой функцией. Она дает точную количественную характеристику цели, которую мы ставим перед собой, планируя нашу деятельность. Функция определяет тот критерий, с помощью которого мы сравниваем различные варианты плана, выбирая оптимальный.

И в нашей задаче четко выраженная целевая функция обеспечит выбор оптимального набора продуктов питания — самого дешевого. Это такие неотрицательные значения переменных x_1 и x_2, которые удовлетворяют условиям задачи (написанной системе уравнений) и при которых целевая функция имеет минимальное из всех возможных значений.



Исследование транспортных операций линейным программированием. Надо получить минимальную стоимость перевозок, принимая во внимание объем продукции каждого завода, емкость каждого склада и стоимость транспортирования единицы товара с каждого завода на каждый склад. Вверху слева и справа показаны два оптимальных — наилучших — решения. В клетках таблиц обозначено, какое количество товара на какой склад выгоднее возить. Внизу в таблице — стоимость перевозки груза с завода на склад. В центре — на схеме маршрутов перевозок — стоимость указана на грузовиках.

Жирными стрелками обозначен наивыгоднейший путь.

Методы линейного программирования как раз и предназначены для решения такого типа задач.

В электронную машину вводят условия задачи в виде системы уравнений и неравенств и формулу целевой функции. Машина выбирает какой-нибудь начальный вариант и анализирует его. Анализ тотчас же обнаруживает, является ли этот почти наугад выбранный вариант оптимальным. Само собой разумеется, такой случай почти невероятен. Если вариант не оптимальный, анализ указывает, как выбрать следующий, который наверняка лучше начального — для него целевая функция будет меньше.

Новый вариант опять анализируется — проверяется на оптимальность, и в случае отрицательного ответа переходят к следующему, еще лучшему варианту. И так шаг за шагом идет поиск, пока анализ не покажет: найденное решение оптимально — варианта с меньшей целевой функцией не существует.

Как видите, в основе метода лежит не слепой перебор всех возможных вариантов, а разумный поиск, где каждый шаг приближает к цели. И когда она достигнута — машина выдала оптимальный вариант, — можно с полной уверенностью утверждать, что лучшего при заданных условиях задачи нет, это гарантируют методы линейного программирования.

При высоких темпах развития народного хозяйства непрерывно ускоряется взаимодействие всех его частей, динамичней становятся экономические показатели. В таких условиях очень важно вести непрерывное планирование и оперативно управлять всеми звеньями народного хозяйства. Малейшее запаздывание в планировании и управлении вызывает не меньшие потери, чем неточность планирования.

Свыше двух миллионов человек были заняты до недавнего времени у нас в стране управленческим трудом. Вероятно, мало кто знает, что только на одном Горьковском автозаводе снабжением завода необходимым сырьем и сбытом готовой продукции занималась целая армия работников — свыше пяти тысяч человек!

Тем, кто управляет производством, в год приходится обрабатывать миллиарды документов. Сегодня люди, вооруженные счетами и арифмометрами, уже не в состоянии справиться с потоками информации. Очень трудно с такими техническими средствами рассчитать множество вариантов планов и, опираясь на точную информацию, обеспечить оптимальность управления народным хозяйством.

В Институте кибернетики Украинской Академии наук подсчитали, что количество планово-экономической информации растет пропорционально квадрату роста объема производства. Значит, через 20 лет больше половины населения Советского Союза должно будет заниматься управленческой работой. Не случайно экономисты мечтают о том дне, когда не только счеты, но и арифмометры будут сданы в музей, а на смену им придет полная автоматизация планово-экономических расчетов.

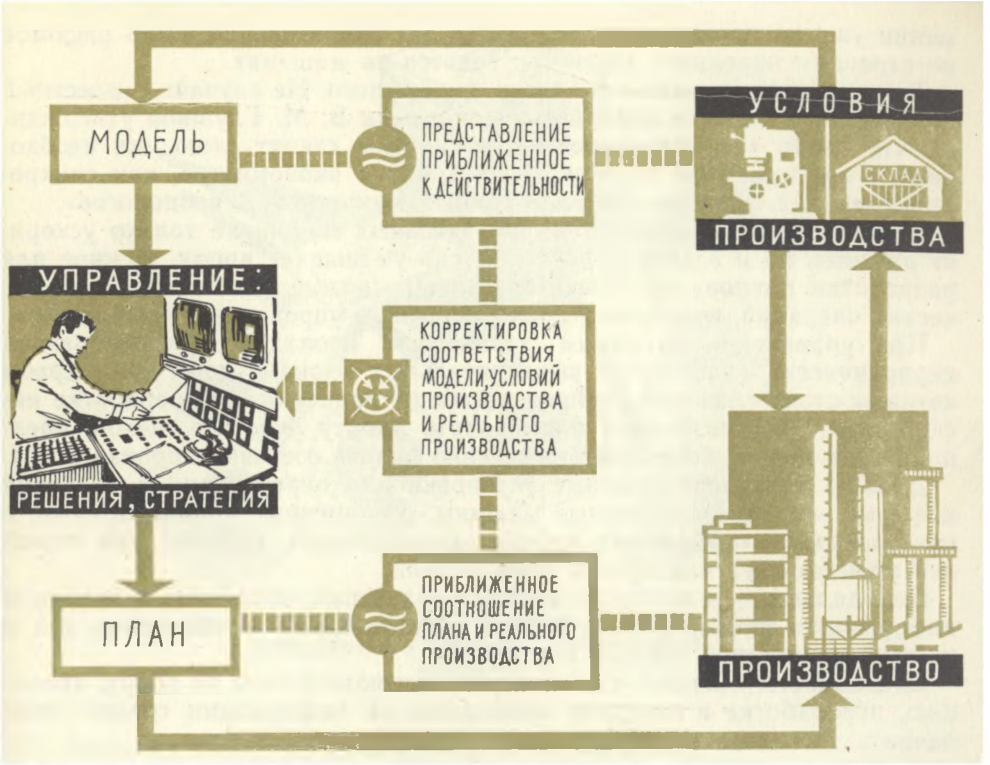


Схема управления производством.

Математические методы можно образно назвать золотым ключом для открывания дверей в таинственное царство экономики.

Конечно, решение экономических задач — дело чрезвычайно трудное. Практика показывает, что чем выше уровень производительных сил в стране, тем более усложняется руководство хозяйством. Количество и сложность расчетов постоянно увеличиваются: ведь увеличивается объем продукции, убыстряются темпы роста, разделяются отрасли народного хозяйства, расширяются внутрихозяйственные связи.

Поэтому широким фронтом ведутся работы по использованию «электронных арифмометров» в планировании народного хозяйства областей, республик и всего Советского Союза.

В Белоруссии, например, с помощью машин был рассчитан и внедрен наивыгоднейший план перевозки леса. А в Ленинграде составили планы речных и морских перевозок по основным речным и морским бассейнам. Вычислительный центр Госплана СССР рассчитал, как лучше закрепить поставщиков за потребителями листового проката. В Турк-

мении уже на протяжении нескольких лет значительная часть расчетов по отраслям народного хозяйства ведется на машинах.

Таких примеров можно привести очень много. Не случайно известный специалист в области кибернетики академик В. М. Глушков утверждает, что скоро «автоматизированные системы станут столь же необходимым инструментом научного исследования экономистов, как синхрофазотрон для физиков или электронный микроскоп для биологов».

Использование электронно-вычислительных машин не только ускоряет расчеты, но и в десятки, в сотни раз уменьшает время, нужное для разработки планов. Электронные машины, используемые для экономических операций, позволяют централизованно управлять производством.

При управлении народным хозяйством проявляется своеобразная иерархичность «электронно-вычислительных экономистов». На первом «этаже» стоят «низовые ячейки» по сбору, хранению и переработке информации. Они позволяют планировать работу участков, цехов, предприятия в целом, позволяют ежедневно видеть состояние производства.

Дальше идут периферийные установки для переработки и хранения информации. Это электронные машины, соединенные каналами связи с центральными «фабриками чисел» экономических районов или отраслей производства или других объединений.

Еще дальше — в центре — система получения, обработки и хранения информации должна давать полное представление о положении дел в каждой конкретной отрасли и в целом.

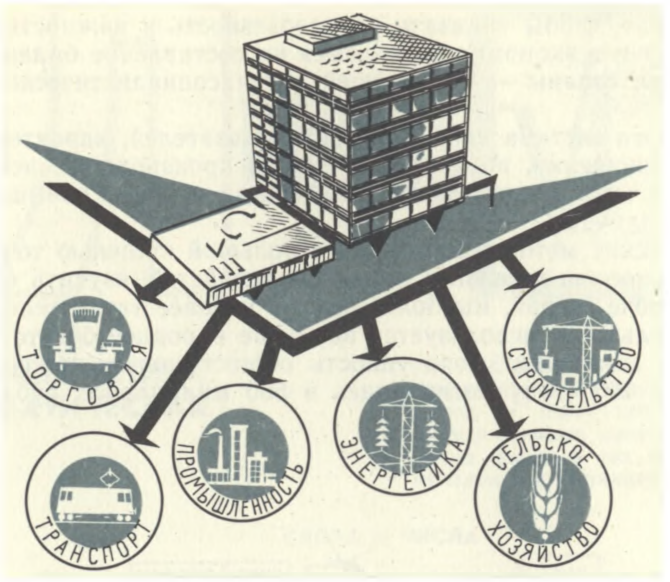
Специалисты считают, что создание всесоюзной сети по сбору, хранению, переработке и передаче экономической информации трудно переоценить, значение ее необычайно велико.

В социалистическом плановом обществе необходимо стремиться к наилучшим показателям, к так называемому оптимуму отдельно в каждой отрасли и к оптимуму в целом во всем народном хозяйстве. Именно об этом говорил В. И. Ленин, указывая, что «...только то строительство может заслужить название социалистического, которое будет производиться по крупному общему плану, стремясь равномерно использовать экономические и хозяйственные ценности».

В. И. Ленин неоднократно обращал внимание и на научную организацию управленческого труда, без которого невозможно правильное руководство народным хозяйством. Он писал, что люди, пришедшие работать в управленческом аппарате, «...должны выдержать испытание на знание основ теории по вопросу о нашем госаппарате, на знание основ науки управления».

Теперь бесспорно существенной частью научного управления являются математические методы. Теперь без них не мыслится экономическое планирование производства, науки, техники, распределение ресурсов; обеспечение рабочей силой; непосредственное, конкретное руководство, управление и контроль на предприятии.

Надо было найти лучший вариант развития угольных предприятий



Таким будет Всесоюзный центр по сбору, хранению, переработке и передаче экономической информации.

Кузбасса на 1962—1970 годы. При этом следовало учесть число шахт, марки углей, затраты труда и сотни других обстоятельств. В Кузбассе около 100 шахт и разрезов, по ним предусмотрено примерно 200 вариантов развития. Методами математического планирования был найден оптимальный вариант решения такой сложной задачи. Оказалось, развитие шахт Кузбасса требует на 200 миллионов рублей капитальных затрат меньше, чем план, составленный обычным путем.

План машины оказался на 43% экономичнее плана человека!

Теперь уже отказываются от экспериментов «в натуре», от дорогостоящих поисков с помощью «проб и ошибок» и все чаще прибегают к моделированию. Так была решена грандиозная задача — разработана научная модель пятилетнего плана развития народного хозяйства СССР на 1971—1975 годы. Даны практические рекомендации по улучшению пропорций развития народного хозяйства и его отраслей, рациональному использованию материальных и трудовых ресурсов, вопросам хозяйственной реформы.

Новый метод позволяет прогнозировать научно-технический прогресс в связи с экономикой, оценивать природные ресурсы, определять оптимальные размеры государственных резервов, оптимизировать и самую структуру органов планирования.

В заключение, чтобы показать всю серьезность и важность применения кибернетики в экономике, сошлемся на составление баланса народного хозяйства страны — важнейшей части социалистического планирования.

Баланс — это система экономических показателей, характеризующих основные соотношения, пропорции и темпы производства, источники и резервы увеличения национального богатства страны, повышение благосостояния народа.

Математические методы позволяют с большой степенью точности выявить все пропорции и связи в народном хозяйстве, изучить его эффективность. Короче говоря, мы более быстро и более точно теперь можем понять, правильно ли используется все наше народное богатство. А оно очень велико: например, совокупность общественного продукта Страны Советов в 1968 году оценивалась в 500 миллиардов рублей!



– ВЫ БЫ ПОКУШАЛИ ЧЕГО-НИБУДЬ, А ТО СОВСЕМ ЗАРАБОТАЛИСЬ!



ЛИНГВИСТИКА МАТЕМАТИЧЕСКАЯ

Научная дисциплина, применяющая математические методы для исследования языка и использующая электронные вычислительные машины для моделирования языка и тех операций, которые человек осуществляет над языком.

СЛОВА И ЧИСЛА

Пожалуй, до недавнего времени одной из самых «нематематических», самых описательных наук по праву считали лингвистику. А вот теперь говорят о лингвистике математической.

Подобно тому, как теория вероятностей произвела в физике переворот, так и введение в лингвистику вероятностных и количественных методов придало этой гуманитарной науке элементы строгости и точности.

Круг вопросов новой науки очень широк. Сначала познакомимся с одним интересным направлением — с количественным описанием языка.

По мнению специалистов, любой язык характеризуют некоторые простые количественные соотношения. Сколько слов в различных языках, каково различие между числом слов и числом морфем и фонем? Каково соотношение между словами и слогами, фонемами и морфемами?

Вам не показались эти вопросы слишком «узкими», «вопросами ради вопросов»? Наверное, показались. Но математическое исследование языка — не забава для ученых, не досужее «буквоедство». Практическое значение такого подхода к языку очень велико. Именно количественные характеристики помогают определить природу, характер неизвестной письменности, помогают и ее дешифровке. Нужны они и для описания современных языков, для изучения их истории, для определения их родства.

Статистический подход к языку приводит иногда к поразительным результатам. Выяснилось, например, что у столь различных, с нашей точки зрения, языков, как русский, английский, самоанский, количество информации, приходящейся на букву «Н», оказалось очень близким: несколько более четырех двоичных единиц информации.

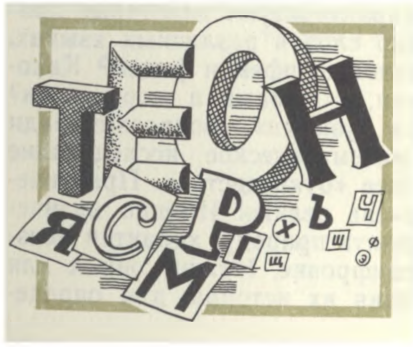
А такие «курьезы», такие точные характеристики очень важны для создания словарей машинного перевода, для преподавания иностранных языков, даже для выяснения некоторых вопросов в экспериментальной психологии. И уж конечно, для изучения поэтического творчества.

Выдающийся советский математик академик А. Н. Колмогоров проанализировал, например, соотношение запаса слов с рифмой. Из какого количества слов можно получить те или иные сочетания рифм? Оказалось, 10 слов для выбора одной рифмующейся пары — очень мало. При 20 словах выбор одной рифмы тоже ненадежен. А вот запас в 100 слов дает уже тройную рифму. 200 слов дают возможность найти четырехкратную рифму. Значит, при 200 словах можно писать сонеты. 500 слов — запас, который в изобилии дает поэтам десятикратные рифмы.

Подсчитали и «взаимоотношение» букв в словах. Если бы все комбинации букв были возможны, то из 30 букв можно составить 30 однобуквенных слов. Двубуквенных — 30^2 — было бы уже 900. 30^3 дали бы 27 000 трехбуквенных слов. 30^4 равно 810 000 слов четырехбуквенных и т. д. А язык содержит примерно 50 тысяч наиболее употребительных слов. Если принять среднее число букв в слове за семь, то окажется, что только 0,0002% всех возможных комбинаций букв являются словами.

И буквы в словах появляются неравномерно. С этой целью исследовали разнообразные тексты. Для русского языка, например, была установлена такая частота повторения: А — 6,2%, О — 9%, И — 6,2%, Н — 5,3%, Ю — 0,6% и т. д.

По вероятностным появлениям всех букв можно подсчитать «информационную нагрузку» каждой буквы. Интересно, что в романе «Евгений Онегин» такая «нагрузка» оказалась равной 0,4. Анализ же стихов поэта «средних способностей» дал совершенно другой результат: «информационная нагрузка» буквы в стихах была 0,18 — в 2,2 раза меньше. Как видите, даже чисто математические исследования творчества Пушкина показали гениальность русского поэта: высокую информационную насыщенность его произведений.



Это не хаотическое нагромождение букв. Величина букв русского алфавита на рисунке соответствует их относительной частоте в текстах, а следовательно, вероятности их появления.

Результаты подобных исследований, проводимых лингвистами-математиками, представляют собой большой интерес и для «собственно лингвистов», изучающих тот или иной язык, и для литературоведов, исследующих, как писатели используют язык, каковы особенности их творчества.

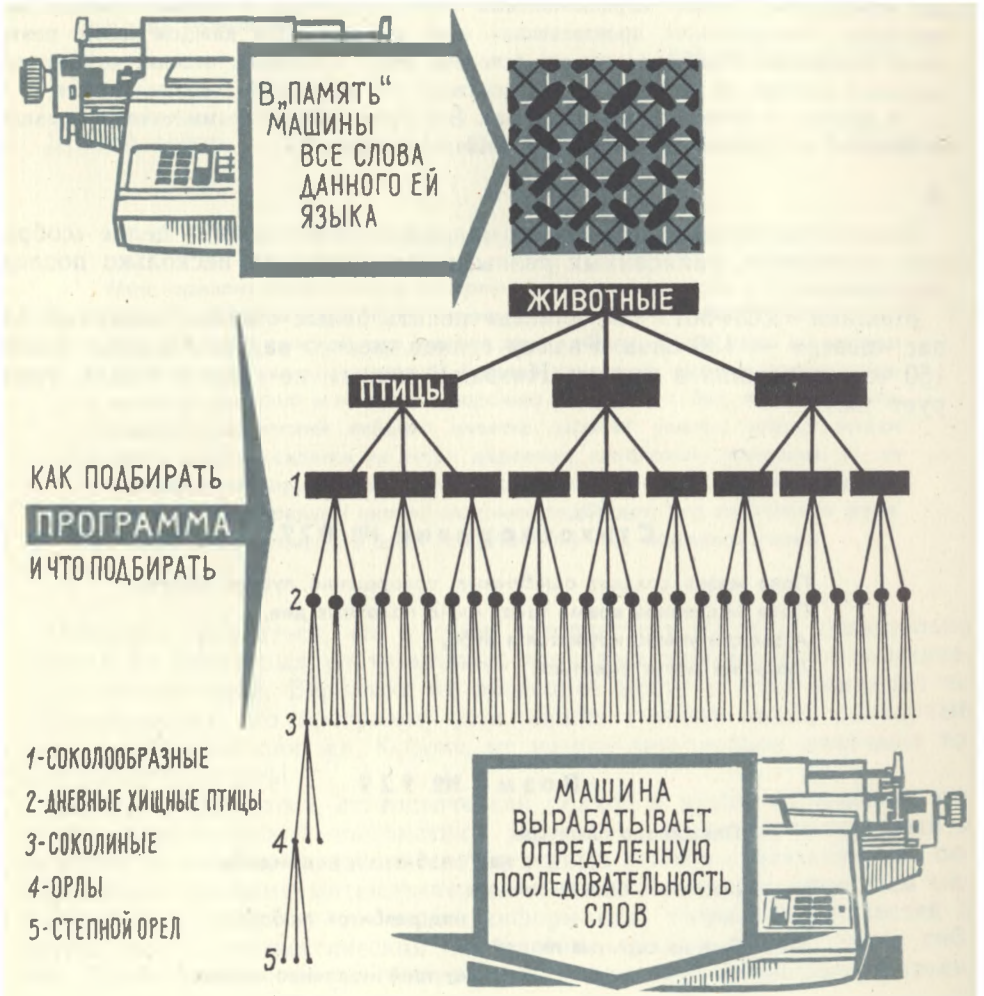
Математическая лингвистика, основываясь на статистическом анали-

зе структуры языка, использует для моделирования языка и электронно-вычислительные машины. Именно к таким моделям «операций, которые человек осуществляет над языком», относятся «литературные способности» электронных машин.

●

КАК МАШИНА ПИШЕТ?

На основе статистического анализа языка машина «научилась» осуществлять синтез фразы. Значит, ей не будет стоить большого труда синтезировать — составить



Анатомия машинного сочинительства.

согласно программе — предложения из запаса слов, которые находятся в машинной «памяти». Действительно, какая разница машине — искать в «памяти» зашифрованную букву или зашифрованное слово?

Для «литературного творчества» в машину можно вложить словарь, в котором родственные понятия будут записаны близкими кодами:

1001001 — животное,

1000100 — птица,

1001101 — орел и т. д.

Машина по программе и по этим кодам подберет близкие по смыслу слова. Основой «творчества» служит первоначальный текст, введенный в машину. Работа над созданием «литературного произведения» идет циклами. При каждом цикле повторения программы машина расширяет основной текст. Расширяя, отходит от него все дальше и дальше, но «в меру» — не искажает его до полной бессмысленности.

А дальше — процесс построения фраз. Все слова машина грамматически правильно собирает в предложения, используя команды программы.

В качестве справки: каково же машинное творчество — целое «собрание сочинений», написанных разными машинами за несколько последних лет.

Машина «RCA-301» «научилась» писать белые стихи. Словарный запас «поэта» — 130 слов. Размер стихов жестко задан. Машина пишет 150 четверостиший в минуту. Названий стихам не дает, а только нумерует их.

Стихотворение № 027

Пока жизнь создает ошибочные, совершенно пустые образы,
Пока медленное время течет мимо полезных дел,
А звезды уныло кружатся в небе,
Люди не могут смеяться.

Поэма № 929

Пока слепо плыл сон
над разбитыми надеждами,
Космос с болью сочился
над разбитой любовью.
Был из скрытых людей
свет твой медленно изгнан,
И небо не спало.

А вот пример творчества «МУКа» — «электронного мозга» Манчестерского университета.

Любовное письмо

Мое маленькое сокровище! Моя вразумительная привязанность чудесно привлекает твой ласковый восторг. Ты мое любящее обожание, мое распирающее грудь обожание. Мое братское чувство с затаенным дыханием ожидает твоего дорогого нетерпения. Обожание моей любви нежно хранит твой алчный пыл.

Твой тоскующий МУК.

Другой автор — французская вычислительная машина «Калиоппа».

Отрывок из рассказа

Мой горизонт состоит лишь из красной портьеры, откуда с перерывами исходит удушливая жара. Едва можно различить мистический силуэт женщины, гордой и ужасной: эта знатная дама, должно быть, одно из времен года. Кажется, она прощается. Я больше ничего не вижу и продвигаюсь к занавесу, который мои руки судорожно раздвигают. Вот, по ту сторону, странный трагический пейзаж: циветта скребет землю, птицы летают с обеих сторон, садятся на ветви деревьев, наполовину иссохших. А тут и черепаха, застывшая неподвижно: она почувствовала мое присутствие. Но почему она покрыта инеем? Мальчик подбегает; его пухленькие руки, его серьезное и смуглое лицо придают ему вид молодого героя.

Нетрудно догадаться, что в своем «творчестве» машины удивительно похожи на некоторых ультрамодных западных творцов формалистических произведений. Вероятно, не последнее место в этом занимает то обстоятельство, что программу для машин готовят люди, словарный запас подбирают они же. Короче, от машин-литераторов получают то, что хотят получить!

Как уже говорилось, статистический подход к языку — один из методов математической лингвистики. Другой — не менее интересный и не менее важный — сравнение естественных языков с искусственно построенными языками математической логики. Призвав в союзницы математическую статистику, теорию информации, теорию вероятностей и другие науки, математическая лингвистика создает новые, более гибкие, более простые искусственные языки для электронно-вычислительных машин.

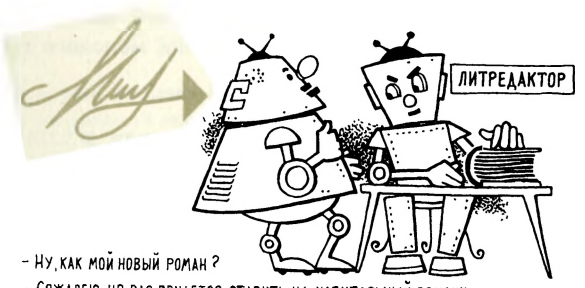
И еще один инструмент исследования в этой области — так называемые анализирующие грамматические модели и модели порождающих грамматик. За этими устрашающими специальными названиями скрывается стремление математической лингвистики разработать модели языка для самых разных целей.

Для каких именно? Здесь придется сказать лишь о том, что сфера применения математической лингвистики широка: создание формальных языков машин, машинный перевод, дешифровка забытых письменностей и некоторые другие. Каждая из них — и увлекательна, и полна неожиданностей, и имеет практический интерес.

В этом убедят вас несколько конкретных примеров.

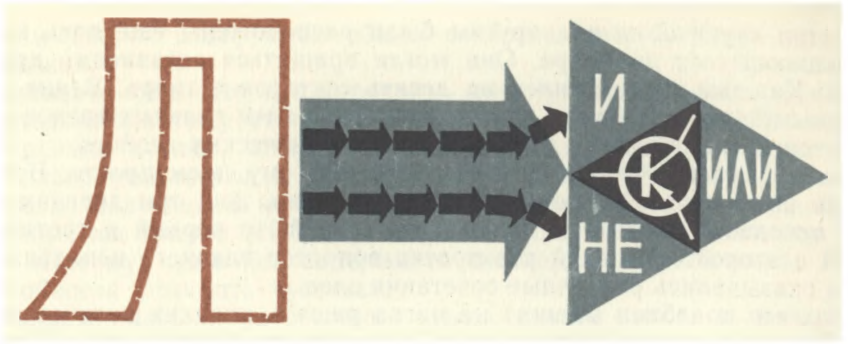
Именно математическая лингвистика определяет, как лучше осуществить машинный перевод с обычного языка, русского, английского или любого другого, на машинно-информационно-логический, каким только и умеет пользоваться машина. Математическая лингвистика работает и над проблемами записи человеческой речи для конструирования автоматических стенографов и читающих автоматов. Очень гуманна роль этой науки в области исследований, связанных с применением электронно-вычислительных машин для облегчения языкового общения людей, лишенных слуха и зрения.

Начало пути математической лингвистики многообещающе. Поэтому можно ожидать, что и дальнейший ее путь, дальнейшее ее развитие будет успешным и плодотворным.



– Ну, как мой новый роман?

– Сожалею, но вас придется ставить на капитальный ремонт



ЛОГИКА МАТЕМАТИЧЕСКАЯ

Наука, изучающая формы рассуждений и доказательств математическими методами.

ТРИ БОГАТЫРЯ

Кто из школьников не знает, что такое алгебра? В школе изучают задачи на решение алгебраических уравнений. Пишут алгебраические выражения, составленные из букв и цифр, соединенных знаками действий: сложения, вычитания, умножения, деления.

А не задумывались вы над тем, что раз в алгебре действия производятся над символами-буквами, может быть, существует и алгебра языка — алгебра, с помощью которой можно было вычислять ответ на вопрос так же, как вычисляют ответ на задачу?

Великий древнегреческий мыслитель Аристотель, живший в IV веке до н. э., создал науку логику — науку правильно рассуждать, науку о формах и законах мышления. Он подверг анализу человеческое мышление, такие его формы, как понятие, суждение, умозаключение, и рассмотрел мышление со стороны строения, структуры, то есть с формальной стороны. Так возникла формальная логика — наука, пытавшаяся найти ответ на вопрос, как мы рассуждаем, изучающая логические операции и правила мышления.

Эти попытки привели в средние века к мысли находить всевозможные истины с помощью простого комбинирования общих понятий. Для этой цели даже строили «мыслительные машины». Средневековые философы мечтали с их помощью разрешить все проблемы науки, все загадки жизни, все тайны Земли и Неба.

«Мыслительная» машина средневекового философа, богослова и алхимика Раймунда Луллия была устроена очень просто. На большом неподвижном круге по окружности были написаны девять вопросов: «Сколько?», «Который из двух?», «Когда?», «Где?», «Какого качества?» и другие, подобные этим.

Внутри круга один над другим были расположены еще пять кругов уменьшающегося диаметра. Они могли вращаться независимо друг от друга. Каждый круг делился на девять секторов-«камер». В них были сделаны надписи. В одном круге названия девяти главных грехов и добродетелей, в другом — девяти главных физических свойств.

Луллия вместил в камеры всю известную ему премудрость. Вращая те или иные круги, он передвигал их на одно, два, три деления. При этом неподвижным был то первый, то второй, то первый и третий или пятый и второй. И всякий раз против вопросов главного неподвижного круга оказывались различные сочетания слов.

Ясно, что подобная машина не могла решать никаких логических задач. Ее «откровения» больше всего походили на бессмыслицу. Иначе и быть не могло. Изобретатель Раймунд Луллия хотя и называл свое детище «великим искусством», но он не имел понятия о законах математической логики, на которых основана работа современных логических машин.

Основоположником математической логики считают великого немецкого математика и философа Готфрида Вильгельма Лейбница. Это он в XVII веке попытался построить первые логические исчисления, арифметические и буквенно-алгебраические. Он сблизил логику с исчислением, усовершенствовал и уточнил логическую символику.

На фундаменте, заложенном Лейбницем, другой великий математик, Джордж Буль, отец писательницы Э. Войнич, автора романа «Овод», воздвиг здание новой области науки — математической логики. Он вывел для логических построений особую алгебру. В отличие от обычной, в ней символами обозначают не числа, а высказывания.

Когда дети только начинают считать, они, например, научившись складывать два яблока и три яблока, становятся в тупик, когда надо сложить три дома и два дома. Но затем в школе ребята усваивают, что существуют числа в о о б щ е, а не какое-то число яблок, домов, вагонов и т. д. Изучая алгебру, ребята постигают, что понятие a^2 значительно шире, чем 13 яблок, взятые 13 раз.

То же и в математической логике: надо абстрагироваться от содержания в ы с к а з ы в а н и й. Оно для математической логики не имеет значения, так же как для алгебры безразлично, что стоит за обозначением x — количество рыб, автомобилей или звезд.

Коль скоро мы в этой логике имеем дело с математикой, для нее не важен конкретный смысл суждения. Для нее важно только одно — истинно данное высказывание или ложно.

Следует обратить внимание и на такое обстоятельство. Оказывается, каждый из нас, можно сказать, только тем и занимается, что обращается к формальной логике. Мы бессознательно — особенно отстаивая свою точку зрения — приноравливаемся к законам алгебры языка, ибо (по мнению специалистов) математическая логика как бы «образует основную ткань нашего мышления». На ней — конечно, в самом ши-

роком смысле — базируются общие свойства высказываний, основы рассуждений.

Представьте себе, что вас спросили: почему днем бывает светло? А вы ответили: потому что днем свет делает день светлым. Вы нарушили правила логики, логику рассуждений: вы ничего не объяснили. Еще Мольер увековечил в бессмертной комедии «Мнимый больной» такой бездоказательный метод мышления. В пьесе бакалавру на экзаменах ставится вопрос: «Почему опиум вызывает сон?» Бакалавр отвечает: «Потому, что в нем содержится снотворная сила, которая имеет способность усыплять чувства».

Как видим, здесь слова обычного языка, взятые вместе в контексте, не дают ясного, точного смысла.

Еще в древности было известно рассуждение, ставшее классическим образцом логического доказательства: «Все люди смертны. Сократ человек. Следовательно, Сократ смертен».

Чтобы придать точное значение словам, ученые придумали специальные однозначные символы. Такая символика позволяет выявить логическую структуру мысли или рассуждения. Точные значения слов позволили вычислять связи между символами слов, отношения между ними. То, что раньше трудно было выразить словами обычного языка, теперь с большой легкостью можно представить символами математической логики.

Вот простой пример. H_2O — обозначение для воды. Оно указывает на присутствие двух атомов водорода и одного атома кислорода на каждую молекулу соединения. В этой записи факты относятся к химии, числа — к математике, а обозначения — к символической логике.

Давайте постепенно подойдем к рассмотрению ее законов.

Логика рассматривает три различные формы, в которых осуществляется мышление: понятие, суждение и умозаключение.

«Этот вписанный угол, опирающийся на диаметр», — это есть понятие; если мы говорим не о всех углах, то понятие единичное. А «все вписанные углы, опирающиеся на диаметр, прямые» — уже суждение, поскольку в нем об объекте суждения высказывается, каковы его свойства.

Если из двух суждений выводится третье, то этот процесс называется умозаключением. Его основной вид в логике называется силлогизмом. В силлогизме одно из суждений — общее — названо большой посылкой, другое суждение — частное — малой посылкой, заключительное суждение — вывод.

Возьмем суждение «все вычислительные машины облегчают труд человека» в качестве большой посылки. А суждение «арифмометр — вычислительная машина» — в качестве малой. Тогда вывод из этих суждений будет: «арифмометр облегчает труд человека».

Суждения могут быть истинными или ложными. Если суждения истинны, то при соблюдении определенных законов образования сил-

логизма мы всегда получим правильный вывод — истинное заключение о суждении, как наш вывод об арифмометре.

Но если при соблюдении правил образования силлогизма мы получаем неверный, ложный вывод, то это значит, что по крайней мере одна из посылок неверна.

Наоборот, если все посылки были истинными суждениями, но в результате умозаключения был получен ложный вывод, это означает, что нарушено какое-то правило образования силлогизма. Нелепый вывод «все ученики двоечники» получится у нас из-за неправильного построения силлогизма «Петров — двоечник. Петров — ученик».

Оказывается, так же как и для математической задачи, решение любой логической задачи имеет свою «технологию». Она составляется из простейших операций, похожих на сложение и умножение. Их выполняют по специальным правилам. С их помощью каждый может решить сложную логическую задачу. То же самое может сделать и автоматическая машина.

ДЛЯ МАШИНЫ ЛОГИЧЕСКУЮ ЗАДАЧУ НАДО ПРЕДСТАВИТЬ В ВИДЕ ФОРМУЛ.

Обычное дело — облечь в уравнения количественные закономерности, выраженные в числах. Но как заковать в формулы свободные логические суждения? Суждения, высказанные словами? Каким образом, например, можно изобразить в виде формул суждение: «Я обязательно поеду на футбольный матч, если достану билет или меня пригласит товарищ и если не будет дождя»?

Оказывается, можно. Но для объяснения придется привести некоторые логические рассуждения.

В рассуждении, сделанном любителем футбола, его поездка на стадион оговорена несколькими условиями. Вот они:

1. Я достану билет.
2. Меня пригласит товарищ.
3. Будет дождь.

Простые высказывания могут быть связаны между собой словами ИЛИ, И, НЕ. Причем сложные высказывания всегда выражаются через простые с помощью этих слов. Они, подобно трем богатырям, все могут в логике.

Можно условиться каждое из этих слов обозначать для краткости каким-либо символом, как в математике вместо слова «плюс», «минус», «умножение», «деленне» пользуются соответствующими знаками.

Обычно слово ИЛИ принято обозначать крестиком (+), а слово И — знаком умножения: точкой ( ).

Теперь остается каждое высказывание обозначить для сокращения какой-либо буквой. А его отрицание, то есть слово НЕ, обозначать той же буквой, но с черточкой наверху.

Например:

Я достану билет — Б. Я не достану билета — $\overline{Б}$.

Меня пригласит приятель —П. Меня не пригласит приятель — $\bar{П}$.

Будет дождь — Д. Не будет дождя — $\bar{Д}$.

Теперь запишем с помощью этих символов сложное высказывание: «Я достану билет, и не будет дождя, или меня пригласит приятель, и не будет дождя».

Вот эта запись:

$$Б \cdot \bar{Д} + П \cdot \bar{Д}.$$

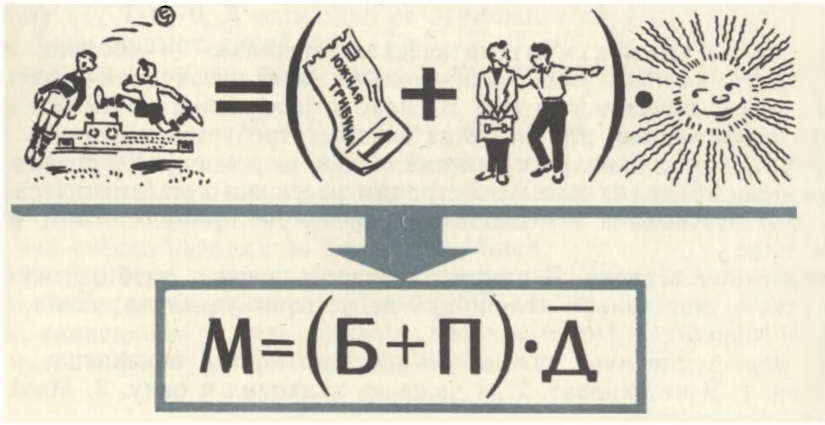
Как и в алгебре, общий множитель можно вынести за скобку. Формула будет тогда в таком виде:

$$(Б + П) \cdot \bar{Д}.$$

Читается она так: «Я достану билет, или меня пригласит приятель, и не будет дождя».

В заявлении нашего любителя футбола это сложное высказывание равносильно условию поездки на матч, которую мы обозначим буквой М. Теперь заявление можно записать очень краткой формулой:

$$М = (Б + П) \cdot \bar{Д}.$$



Вы знаете, что всякое логическое суждение может быть либо истинным, либо ложным. В математической логике условились истинное высказывание обозначать единицей, а ложное нулем. Опять 1 и 0.

«Я выучила все уроки», — заявила ученица своему классному руководителю. Обозначим это заявление для краткости буквой У. И если высказывание ученицы истинно, то У=1. Значит, если У=1, то $\bar{У}$=0, так как в данном случае высказывание «я не выучила уроков» было бы ложным.

И наоборот, если бы ученик не выучил уроки, то У=0, и тогда $\bar{У}$=1.

Это правило является в логике общим. Если какое-либо высказывание В=1, то $\bar{В}$=0, и наоборот: если В=0, то $\bar{В}$=1.

Нам остается еще познакомиться с несколькими положениями математической логики, и тогда мы будем знать основные ее законы.

Ясно, что В+В=В и В·В=В.

Действительно, сложное высказывание «я иду гулять или я иду гулять» ничем не отличается от простого высказывания «я иду гулять». Точно так же «приемник будет работать и приемник будет работать» равносильно простому высказыванию «приемник будет работать».

Столь же очевидны следующие два положения:

$$B + \bar{B} = 1 \text{ и } B \cdot \bar{B} = 0.$$

В самом деле, сложное высказывание «дождь будет или дождя не будет» истинно в том или другом случае — оно всегда истинно. Такого рода прогноз погоды всегда был бы правильным, хотя вряд ли кого-либо устроил.

А сложное высказывание «телевизор включен и телевизор не включен» всегда ложно. Соединение с помощью И двух противоположных суждений никогда не может быть истинным.

Теперь, когда мы логику претворили в формулы, зададим себе такой вопрос: можно ли «вычислить» истину? Оказывается, можно.

●

Есть такая книжка «Математическая смекалка» — сборник миниатюр для гимнастики ума. Каких только затейливых задач, математических игр и фокусов там нет! В главе «Математика почти без вычислений» даны задачи, для решения которых требуется построить цепочку искусных и тонких рассуждений. Одна из задач, «Уголовная история», очень подходит для иллюстрации рассказа о математической логике. Вот эта задача в несколько измененном применительно к этой книге виде.

Неприятная история. В одном из классов школы разбито окно. Выбить стекло мог только кто-нибудь из четырех учеников: Леня, Дима, Толя и Миша.

При опросе учеников каждый из них дал по три показания.

Леня. 1. Я не виноват. 2. Я даже не подходил к окну. 3. Миша знает, кто это сделал.

Дима. 1. Стекло разбил не я. 2. С Мишей я не был знаком до поступления в школу. 3. Это сделал Толя.

Толя. 1. Я не виновен. 2. Это сделал Миша. 3. Дима говорит неправду, утверждая, что я разбил стекло.

Миша. 1. Я не виноват. 2. Стекло разбил Леня. 3. Дима может поручиться за меня, так как знает меня со дня рождения.

При дальнейших расспросах каждый ученик заявил, что сделал два верных заявления и одно ложное.

Попробуем с помощью математической логики найти виновного.

Нам известно, что сложное высказывание каждого из них, когда оно истинно, равно единице, когда ложно — нулю.

Значит, высказывание каждого из ребят будет истинным, когда верно первое и второе и неверно третье показание, или верно первое и третье и неверно второе, или верно второе и третье и неверно первое.

Каждого из учеников обозначим буквой его имени с цифрой показания внизу. Запись будет выглядеть так:

$$Л = Л_1 \cdot Л_2 \cdot \bar{Л}_3 + Л_1 \cdot \bar{Л}_2 \cdot Л_3 + \bar{Л}_1 \cdot Л_2 \cdot Л_3.$$
$$Д = Д_1 \cdot Д_2 \cdot \bar{Д}_3 + Д_1 \cdot \bar{Д}_2 \cdot Д_3 + \bar{Д}_1 \cdot Д_2 \cdot Д_3.$$
$$Т = Т_1 \cdot Т_2 \cdot \bar{Т}_3 + Т_1 \cdot \bar{Т}_2 \cdot Т_3 + \bar{Т}_1 \cdot Т_2 \cdot Т_3.$$
$$М = М_1 \cdot М_2 \cdot \bar{М}_3 + М_1 \cdot \bar{М}_2 \cdot М_3 + \bar{М}_1 \cdot М_2 \cdot М_3.$$

Если внимательно проследить показания учеников, то легко заметить, что первое и третье показания Толи равносильны. Действительно, утверждение «Я не виновен» и «Дима говорит неправду, утверждая, что я разбил стекло» по существу одно и то же. Тогда $Т_3 = Т_1$, а $Т_3 = Т_1$. Заявление Толи теперь можно записать так:

$$Т = Т_1 \cdot \bar{Т}_2 \cdot Т_1 + Т_1 \cdot Т_2 \cdot \bar{Т}_1 + \bar{Т}_1 \cdot Т_2 \cdot Т_1 \text{ или}$$
$$Т = (Т_1 \cdot \bar{Т}_1) \cdot Т_2 + (Т_1 \cdot Т_1) \cdot \bar{Т}_2 + (\bar{Т}_1 \cdot Т_1) \cdot Т_2.$$

Но мы знаем уже, что противоречивые высказывания дают ложь. Поэтому $(Т_1 \cdot Т_1) = 0$. А если один из сомножителей равен нулю, то заявление Толи примет такой вид: $Т = Т_1 \cdot Т_1 \cdot Т_2 = Т_1 \cdot Т_2$. Оно будет истинным, равным единице, если каждый из сомножителей равен единице. Следовательно:

$$Т_1 = 1 \quad \text{и} \quad \bar{Т}_2 = 1 \quad \text{или} \quad Т_2 = 0.$$

Таким образом, мы нашли, что первое высказывание Толи верно, а второе ложно. А так как он сказал: 1. Я не виноват. 2. Это сделал Миша. 3. Дима говорит неправду, утверждая, что я разбил стекло, — то ясно, что стекло разбили не Толя и не Миша.

Но теперь ясно и то, что третье показание Димы, в котором он обвиняет Толю, ложно. Значит, $Д_3 = 0$ и $\bar{Д}_3 = 1$. Раз так, то в заявлении Димы, записанном в виде формул, последние два слагаемых обратятся в нуль, и формула примет простой вид:

$$Д = Д_1 \cdot Д_2 \cdot \bar{Д}_3.$$

А мы уже нашли, что $\bar{Д}_3 = 1$, следовательно, $Д_1 = 1$ и $Д_2 = 1$.

Первое и третье показания Димы верны. Выходит, он не виновен.

Третье показание Миши противоположно второму показанию Димы. Запишем: $М_3 = \bar{Д}_2$. Значит, $М_3 = 0$, а $\bar{М}_3 = 1$. Заявление Миши теперь выглядит так:

$$М = М_1 \cdot М_2 \cdot \bar{М}_3.$$

Оно истинно только в том случае, когда $М_1 = 1$, $М_2 = 1$, $\bar{М}_3 = 1$.

Второе показание Миши истинно! Стекло разбил Леня.

Так формулы математической логики быстро и безошибочно помогли найти виновника.

Математическая логика с развитием вычислительных машин оказалась в тесной взаимосвязи с вычислительной математикой, со всеми вопросами конструирования и программирования электронных счетных машин.

Все началось с того, что ученые сперва предположили возможность построения электрических схем на базе математической логики. Затем построили такие схемы. А теперь всевозможные электронные схемы лежат в основе вычислительных машин.

Смотрите. Если условиться записывать контакты, замыкающие цепь от сигналов *а* и *в*, теми же буквами *а* и *в*, а контакты, размыкающие цепь при наличии этих сигналов, — символами a^1 и $в^1$, и если условиться параллельное и последовательное соединения контактов обозначать знаками сложения и умножения, то операции a^1, $a+в$, $ав$ производятся соответственно по правилам логического отрицания (НЕ), сложения (ИЛИ) или логического умножения (И). Замкнутая цепь при этом — 1 (истина), а разомкнутая — 0 (ложь).

Представьте себе электрическую схему, например цепь из источника тока, звонка и двух выключателей. В такой цепи, чтобы зазвонил звонок, то есть чтобы прошел сигнал, надо включить И первый, И второй выключатели. Подобная схема называется схемой совпадения, или логической схемой И. В ней только при совпадении во времени обоих сигналов на выходе появляется импульс.

В другой схеме выключатели соединим параллельно. Теперь надо включить ИЛИ первый, ИЛИ второй выключатели, и тогда звонок зазвонит. Такая схема называется схемой разделения. Она осуществляет логическую операцию ИЛИ. Схема позволяет в одну точку подать напряжение от различных линий без замыкания их между собой.

Схему отрицания, или логическую схему НЕ, можно назвать цепью наоборот. В ней один вход и один выход. Но импульс тока на выходе появляется лишь тогда, когда на входе нет сигнала.

Конечно, бессмысленно ставить в электронных быстродействующих машинах электрические цепи с выключателями. Здесь работают электронные устройства. Они воспроизводят те же логические операции, но с огромной скоростью.

Вот, например, три электронно-ламповые схемы. Первая — НЕ, вторая — И, третья — ИЛИ. Как они работают?

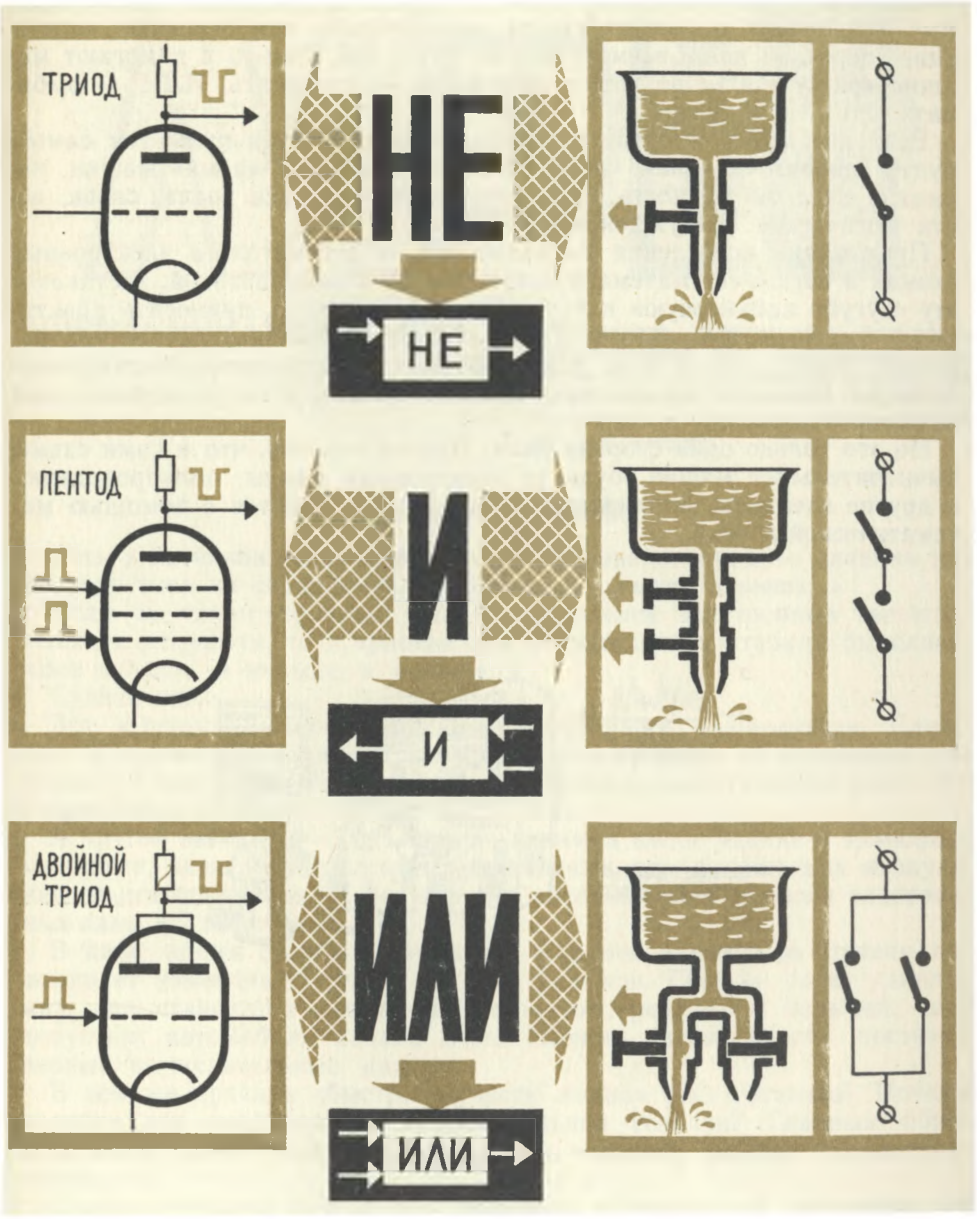
Воспользуемся аналогией между электрическим током и водотоком. Посмотрите, как падает уровень воды в сосудах, и вам все станет ясно.

Если НЕ сдвигать задвижку, уровень воды в сосуде упадет.

Если сдвинуть И первую, И вторую задвижки, уровень воды в сосуде упадет.

Если сдвинуть ИЛИ первую, ИЛИ вторую задвижки, уровень воды в сосуде упадет.

В электронных лампах происходит примерно то же самое. Только течет не вода, а электрический ток. Вместо уровней воды — величины напряжений на выходе. Схемами же управляют не задвижки, а импульсы тока.



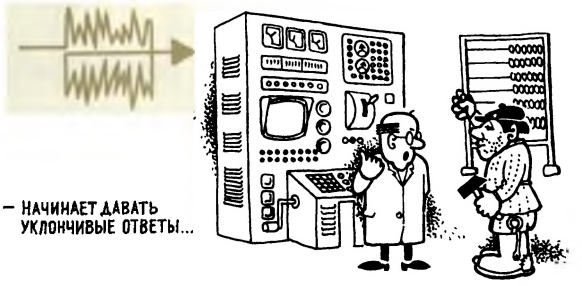
НЕ, И, ИЛИ в электронных схемах и их аналогии.

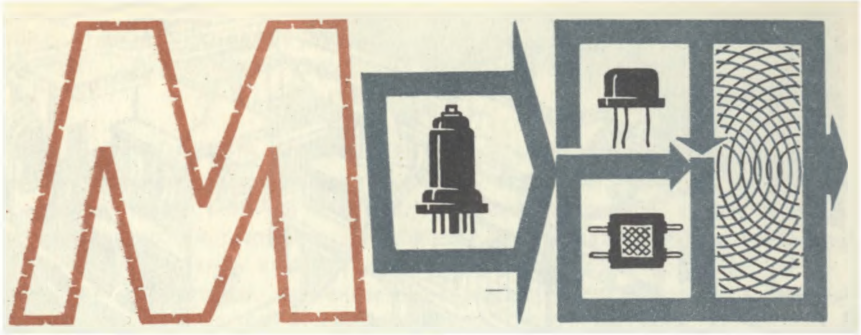
Вот мы и получили, так сказать, овеществленные, материализованные в проводах и лампах схемы, реализующие три основные логические операции: наши всемогущие И, ИЛИ, НЕ. Они-то и помогают машине «рассуждать» во время работы: И — соединять, ИЛИ — выбирать, НЕ — отрицать.

Если вспомнить, что триггер, показывая единицу и нуль, тем самым будто говорит «да» или «нет», то станет ясно, что «язык» машин, несмотря на свою бедность, позволяет кодировать все числа, слова, вести логические рассуждения.

Применение исчисления высказываний в автоматах, в электронных схемах и связывает математическую логику с кибернетикой, заставляет эту «сугубо кабинетную» науку, науку абстрактную, приносить практически ощутимые результаты. Грубо говоря, математическая логика работает везде, где и над чем работают электронно-вычислительные машины. Ведь каждая задача в машинах решается по ее непреложным законам.

Но это только одна сторона дела. Другая — в том, что и сами схемы вычислительных машин, будь то электронные лампы, полупроводники и другие элементы, анализируются и разрабатываются с помощью математической логики.





МИКРОМИНИАТЮРИЗАЦИЯ

Направление технического прогресса, преследующее цель уменьшения габаритов, веса и потребления энергии при одновременном повышении надежности аппаратуры и облегчении автоматизации ее производства.

КУДА СТРЕМИТСЯ КАРЛИК!

Есть у летчиков песня-марш, слова припева которой — главная характеристика их стремлений: «Все выше, и выше, и выше...»

Если бы такая же песня была у создателей электронных вычислительных устройств, то в припеве они обязательно поставили бы слова: «Все меньше, и меньше, и меньше...»

Судите сами.

Вот «Эниак», которому недавно поклонялись вычислители. Сложная 30-тонная громадина в зале площадью 150 $м^2$, 40 отдельных панелей, 18 тысяч электронных ламп, 1500 электромеханических реле. Поразительные числа!

А другой ветеран — «Тридаг»? Он занимал целое здание с трансформаторами, электродвигателями, установками для охлаждения воздуха, насосными станциями. И все это для обслуживания 8 тысяч электронных ламп и 2 тысяч реле.

В наше время судьба электронной машины в какой-то степени напоминает изменчивую судьбу многих фильмов. Еще не успев удивить мир, она становится музейным экспонатом, редкостью большей, чем, допустим, автомобиль начала века. Именно такая участь постигла первые вычислительные машины.

В чем же причина «быстротекучести жизни» этих гигантов? Почему погибли эти «мастодонты» вычислительной техники? Главным образом, из-за своих больших размеров и, конечно, роковой медлительности...

Считали гиганты хотя по тем временам и быстро, но... медленно: от десятков до сотен вычислений в секунду, не больше.



О величине одной из первых электронно-вычислительных машин можно судить по фигуркам людей около этого гиганта.

Современные же наука и техника выдвигали такие задачи, что даже подумать об их решении было страшно. Возникала необходимость проделывать десятки триллионов арифметических операций! Если вычислять со скоростью десять тысяч операций в секунду, то и тогда понадобилось бы свыше четырех лет непрерывной работы быстродействующей машины. Например, для решения задачи по планированию и управлению народным хозяйством необходимо провести 10 000 000 000 000 000 вычислительных операций — единица с шестнадцатью нулями, 10 квинтильонов. С такой чудовищной работой могут справиться лишь три с половиной миллиона тихоходных машин. Конечно, это нереальный выход. Остается одно: заставить машины считать быстрее...

Сосчитать до миллиона, трудясь по восемь часов в день, вы смогли бы за три с половиной месяца. А до миллиарда добрались бы лишь за... 500 лет. Машина — быстрее. Но быстрее — понятие относительное. Как быстрее? За день, за час, за минуту?

Во сколько раз — вот в чем вопрос. И еще: какими должны быть быстродействующие машины, из каких элементов их делать, каких размеров они достигнут?

Теперь, когда вычислительная техника имеет уже свою историю, можно, оглянувшись на нее, увидеть, как изменились машины от поколения к поколению, проследить тенденцию их развития.

Предки нынешних машин — это электромеханические тихоходы, во-

бравшие в себя всю премудрость 40-х годов. Время срабатывания в устройствах этих машин измерялось миллисекундами.

ПЕРВОЕ ПОКОЛЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН заявило о себе ровным гулом электронных ламп в серых металлических шкафах. Жили они не очень долго — с 1946 по 1957 год. Плотность монтажа у них была 0,01—0,10 элемента на кубический сантиметр. А скорость? Она измерялась уже в микросекундах. Лишь только у этих машин стали проявляться первые проблески «ума», как люди поспешили назвать их «думающими» и начали лихорадочно прикидывать, какой величины будут машины, чтобы сравняться с мозгом. Вывод был неутешительным. Величина «электронного мозга» — с самый большой небоскреб. Чтобы охладить такую громаду, нужен Ниагарский водопад.

Еще, так сказать, в недрах первого поколения стали зарождаться машины второго поколения.

Во втором машинном поколении главную роль играют полупроводники. Если самая лучшая электронная лампа работает не более 5 тысяч часов, то полупроводниковое устройство — 70 тысяч. По сравнению с ламповой колбой полупроводниковый прибор размером со спичечную головку выглядит совсем карликом. У него оказалось много ценных свойств — у новых машин повысилась надежность, энергии они брали мало и прекрасно обходились без охлаждения. Их размеры настолько сократились, что конструкторы начали поговаривать уже о настольных вычислительных агрегатах, которые заняли бы место традиционных арифмометров.

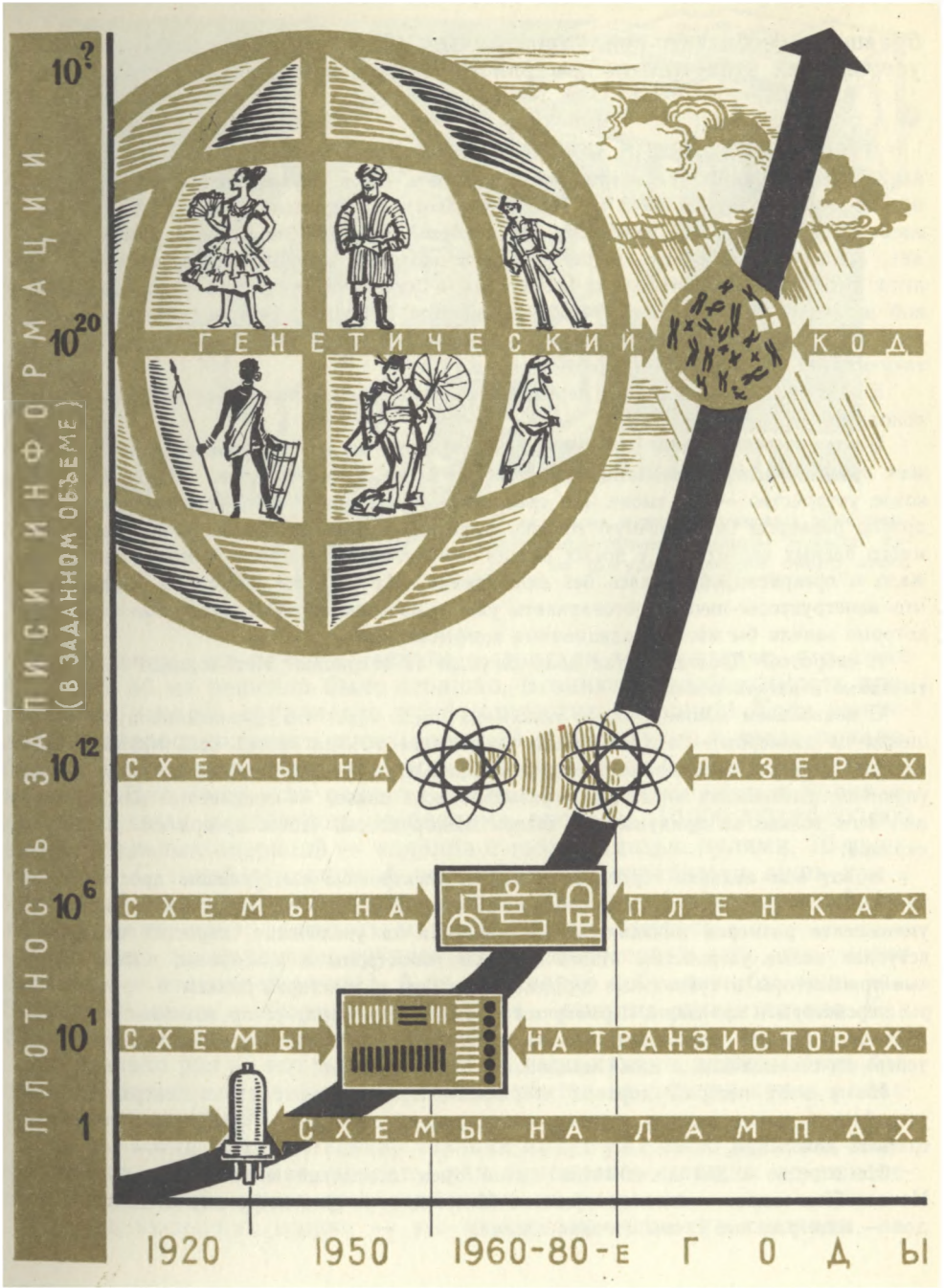
А скорости? Десятая, сотая доли секунды на операцию? Нет, гораздо быстрее — тысячные и десятитысячные!

С появлением машин второго поколения стало ясно, что дальнейший путь уменьшения их размеров — это не только уменьшение объема частей всей машины, но и главным образом сокращение размеров отдельных ее деталей, повышение плотности их упаковки, уменьшение числа да и размеров всех связей — соединений между узлами. Чего только не придумывали теперь конструкторы, чтобы превратить машину в карлика!

И вот еще недавно горделиво всюду в электронике выступавшие простые транзисторные устройства скромно отошли на второй план. На смену им в борьбу за уменьшение размеров вычислительных машин и за увеличение скоростей их работы вступили новые устройства. Много их было: оптотроны и криотроны, высокочастотные транзисторы и туннельные диоды, спасисторы и твисторы, биаксы и трасфлюксоры, персисторы и криозары, парметроны и текнетроны. Сразу стало возможным десятикратное и больше уменьшение объема различных устройств. И счет скоростей пошел теперь на стотысячные и даже миллионные доли секунды.

Но и этот пестрый хоровод сверхминиатюрных, сверхбыстрых, сверхнадежных устройств в конце концов уступил место тонким пленкам — «кирпичикам» машин третьего поколения.

На отрезке в два десятилетия смена трех поколений вычислительных машин! Начало 50-х годов — ламповые, начало 60-х годов — транзисторные, начало 70-х годов — интегральные схемы (тонкие пленки).



Путь микроминиатюризации.

Из новых «кирпичиков» удалось создать мир маленьких гигантов, воздвигнуть электронные города необычной архитектуры. Если раньше конструктор мог с гордостью показать вычислительное устройство машины чуть больше баночки из-под килек, то теперь инженеры хотят разместить в одном кубическом дециметре 350 тысяч схем.

Что же за волшебница эта тонкая пленка? Откуда у нее такие возможности, что она позволяет конструкторам столько сделать?

Обычно пленки получают напылением. Нужный материал нагревают в вакууме — почти в пустоте — при одной миллиардной доле атмосферы. Он испаряется и оседает на стеклянной или металлической пластинке. Эта тонкая работа усложняется во много крат из-за необходимости осаждать частички не как попало, а по строго определенному геометрическому узору. «Электронное вышивание» достигается тем, что напыление ведут через отверстия шаблона-маски и весь процесс повторяют еще и еще раз. Слои пленки в схемах — а слоев бывает десять, пятнадцать и больше — должны совпадать по структуре один с другим с абсолютной точностью. Ничего не нужно добавлять к характеристике сложности этой работы, если назвать толщину пленки: всего 100 ангстрем — одна стотысячная миллиметра! Да и можно ли здесь употреблять слово «толщина», если пленка не достигает и десятитысячной доли толщины бритвенного лезвия?

Пленочные микросхемы — это уже целые законченные электронные схемы. Значит, перед нами не искусство монтажа из отдельных блоков, из отдельных «кирпичиков», а виртуозное владение веществом, когда каждая его частичка по воле создателя занимает то место, которое он предпишет ей занять. Вот что становится главным сегодня для строителей машин.

100 миллионов приборов в кубическом миллиметре, мгновенные скорости переключения — вот что такое элементы машин третьего поколения. Абсолютное превосходство карликов над гигантами! Карлики вновь победили, отворив дверь в неслыханное и невиданное раньше царство, над входом в которое написано: «Наносекунда» — миллиардная доля секунды.

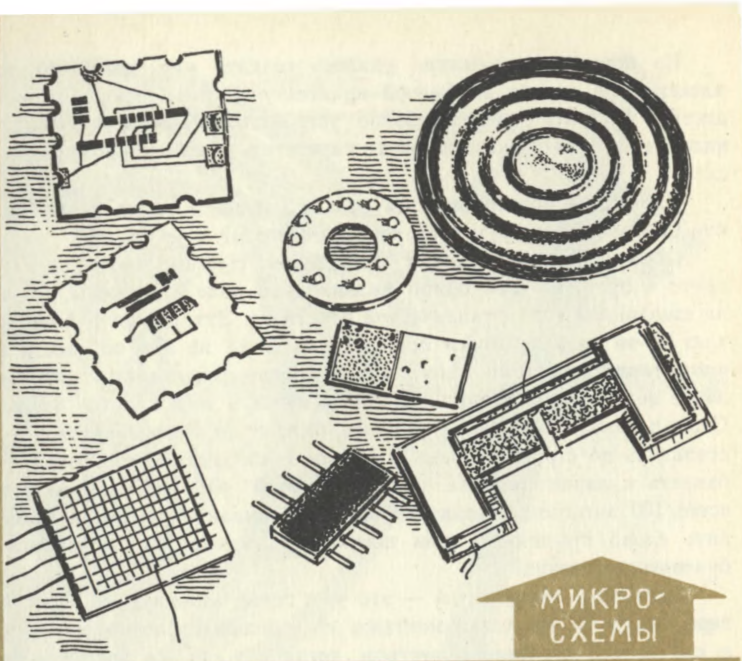
Такую скорость вычислительной машины, как ни парадоксально, невозможно ни увидеть, ни представить — ее можно только получить, ею можно только пользоваться! Торжество техники полное: руками сделано то, что бессильно представить себе воображение.

Но, как это обычно бывает в технике, ее очередной успех еще на шаг приближает нас к очередному препятствию. Быстродействие машин третьего поколения ограничено скоростью распространения электрических импульсов в твердом теле.

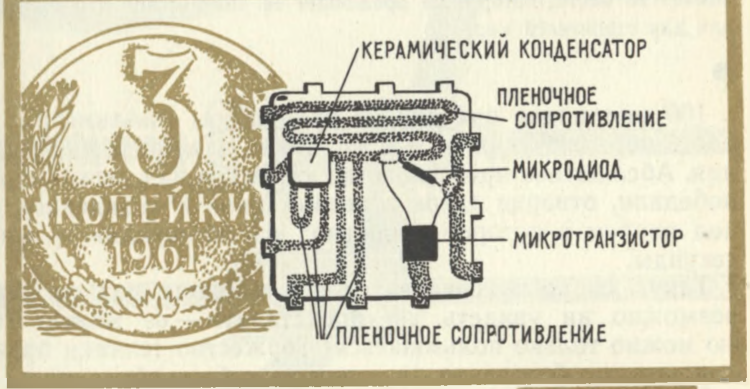
Препятствие заставляет идти в обход.

Вот эта дорога, как ее рисуют специалисты. Созданы микроскопические устройства для преобразования электрических сигналов в световые и световых — в электрические. Появилась и волоконная оптика — тонкие прозрачные нити, позволяющие направлять свет по любому пря-











Элементы микроминиатюризации.
Микромодули — блоки из микроэлементов, выполняющих функции вычислительной ячейки.
Интегральные схемы — группы элементов. Существуют целые ассоциации интегральных схем — БИС: большие интегральные схемы.
Совершенно новые устройства — оптико-электронные — с применением лазеров.

молинейному или криволинейному пути между элементами схемы, подобно тому как по металлическим проводам движутся электронные потоки. В результате в упряжку электроники удалось включить наряду с электроном также частицу света — фотон.

Потоки информации в оптико-электронных устройствах текут как по электрическим, так и по оптическим каналам, на стыках которых стоят микроскопические оптико-электронные и электро-оптические преобразователи. Применение оптических связей и оптических методов обработки информации дало электронике вторую степень свободы — существенно расширило ее возможности, открыло новые перспективы. И вот вырисовываются контуры машин четвертого поколения. Их «оживит» не электрический ток, а луч света. Теперь уже не образом, почти реальностью зазвучат слова: «машина светится мыслью».

Оптические вычислительные машины будут построены на совершенно ином принципе, чем электронные. Импульсы света длительностью в стомиллиардную долю секунды почти мгновенно включают и выключают систему лазеров.

Фантастические скорости определили и фантастические размеры машин — предельно малые. Ведь вычислительной ячейкой в этих светоносных машинах послужит молекула или даже атом. Здесь самый острый вопрос — надежность. Даже тульский Левша, подковавший блоху, признал бы себя беспомощным при необходимости отремонтировать вычислительную кроху. Значит, нужна безотказная машина. Да она вообще не должна ломаться, решили инженеры. Такие устройства есть: природа, например, выпестовала мозг человека. Надежность его безупречна. Он работает без ремонта и без остановок примерно лет 70, хотя за каждый час человеческой жизни отмирает около 1000 нейронов, а за всю жизнь — около 500 миллионов нейронов. Так почему же не воспользоваться опытом природы?

Не слишком ли смелая мысль создать машину с надежностью мозга? Не беспочвенное ли это мечтание? Оказывается, нет. Можно построить некое лазерное устройство из стекловолокна, которое будет в принципе работать, как живой нейрон. Светопроводы — волокна — сыграют роль нервов в передаче импульсов. Схема работы машины будет имитацией действия нейронов мозга и нервной системы. Этот гибрид техники и электроники станет, по сути дела, синтетическим мозгом.

Казалось бы, достигнут верх желаний: и невообразимые скорости, и удивительная надежность, и предельная компактность. Но впередсмотрящие, те, кто неустанно вглядывается в будущее, уже различают в туманной дали очертания машин пятого поколения.

Если вы внимательный читатель, то заметили, что написано просто: «машин пятого поколения». Без всяких эпитетов, без ставшего уже привычным «думающих», или строгого — «вычислительных», или смелого — «мыслящих». Почему?

Считают, что машины пятого поколения, возможно, произведут революцию в технике, какую произвели 20 лет назад вычислительные электронные устройства, заменившие электромеханические. Ведь количество логических операций в секунду будет обозначаться тогда числом не менее, чем 10^{20}! Попробуй подыщи эпитет для этой машины. К тому же и принцип работы ее будет совершенно иным.

Представьте, что вы читаете эту книгу не по строчкам, а сразу целыми страницами, не последовательно, нанизывая одну строчку на другую, а единым взглядом. Именно таково действие машин пятого поколения, проекты которых уже существуют. Они смогут обрабатывать исходные данные целыми «массивами». Вычислительный элемент воспримет не строчку, а целую картину, даже не картину, а десять тысяч картин кряду, каждая из которых будет содержать 10^{10} двоичных знаков информации. Напрасно вы будете искать у новых машин каналы для передачи световых и электронных сигналов. Это странные, почти бестелесные создания.

Грубо говоря, принцип их работы напоминает эпидиаскоп, посылающий изображение на экран молниеносно и накладывающий их одно на другое. Огромную библиотеку из 500 тысяч томов вместит машинная «память», если ее сделать на «картинах».

И информация из нее будет выбираться не по адресному принципу, когда приходится искать и «улицу» и «дом», чтобы попасть в нужную ячейку, а ассоциативно.

Все, что мы запоминаем, связано между собой, запоминается группами, а не изолированно. Вспомните, у писателя Константина Паустовского в «Золотой розе» есть цепочка ассоциаций: от красного свитера через Эйзенштейна на улице в Алма-Ате, через историю завоевания Америки, через талант Горького-рассказчика, через рассвирепевшего Марка Твена, через Гекльберри Финна, держащего за хвост дохлую кошку, к памятнику лермонтовскому Максиму Максимычу или Бэле. Это работа нашей памяти, памяти человека. Так будет работать и «память» новых машин, которые еще до появления получили романтическое название — машины «картинной логики» или машины «картинной арифметики».

Перед нами прошли пять поколений машин. Обратили ли вы внимание, как стремительно растут их возможности и как при этом не менее стремительно уменьшаются их размеры? С какой стремительной быстротой подобные машины уходят от привычного понятия «машина» и становятся совершенно невообразимыми!

Где же может окончиться дорога миниатюризации и имеют ли машины предел в своем развитии?

История пяти поколений утверждает — нет! А как же быть с ограничениями, накладываемыми законами природы, например с постоянностью скорости света?..

Никуда не денешься от того, что скорость передачи информации ограничена скоростью света. Поэтому будущую оптическую машину на-

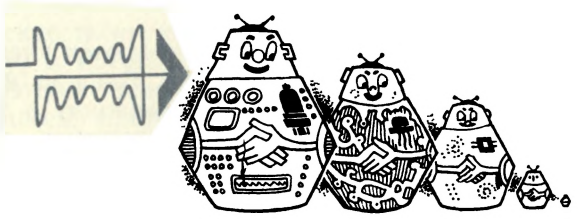
до построить так, чтобы луч света проходил в ней наименьшие расстояния. По всей видимости, она будет иметь форму шара, поскольку известно, что из всех тел одинакового объема у сферы — наименьшая поверхность.

Когда мы переходим из привычного нашего мира в микромир, то сталкиваемся с иными законами, иными «порядками». В нашем мире емкость вычислительных машин ограничена верхней границей плотности, с которой можно заполнить «память» машины. А в микромире это совсем не страшно — ведь один кубический сантиметр предельно тяжелого ядерного вещества весит 114 миллионов тонн. Какое гигантское количество информации можно вложить в материю такой плотности! А живая природа? Подумать только: в объеме, равном дождевой капле, можно заключить материальную основу, передающую генетическую информацию всего населения земного шара — трех миллиардов человек.

Здесь уместно заметить, что нервные элементы человеческого мозга — каждый из них — работают медленно. Выполнение операции проходит приблизительно за секунду. Медлительность компенсируется гигантской избыточностью — элементов много. Подсчитано, что элемент, работающий одну миллионную долю секунды, совершает теоретически, конечно, ту же работу, что и тысяча элементов, работающих по одной тысячной секунды. Естественно подумать: а не начнут ли конструкторы работу в обратном направлении — заменять скорость количеством? Раньше на этом пути стояла преграда — размеры элементов машин. Но такой преграды в будущем, как мы видели, может и не быть.

Изобретательность природы, ее умение экономно упаковывать информацию подсказывает конструкторам дорогу, по которой ближе всего к достижению цели.

Сегодня еще трудно определить место будущих машин в жизни человека. Что станут делать интеллектуальные автоматы, запоминающие быстрее, чем мозг человека, и думающие быстрее человека? Неизвестно. И не потому, что ответ на этот вопрос — дело далекого будущего: не исключено — подобные машины станут нашими современниками. Дело в другом. Просто ученым до сих пор неясно, каковы будут взаимоотношения между творцом и его таким удивительным созданием.





МОДЕЛИРОВАНИЕ

Исследование различных явлений и процессов на моделях. Модель — условный образ (изображение, схема, описание и т. п.).

ОДИНАКОВЫЕ НЕОДИНАКОВОСТИ

В 1870 году английское Адмиралтейство спустило на воду новый броненосец «Кэптен». Корабль вышел в море и перевернулся. Погиб корабль. Погибли 523 моряка.

Это было совершенно неожиданно для всех. Для всех, кроме одного человека. Им был английский ученый-кораблестроитель В. Рид, который предварительно провел исследования на модели броненосца и установил, что корабль опрокинется даже при небольшом волнении. Но ученому, проделывающему какие-то несерьезные опыты с «игрушкой», не поверили лорды из Адмиралтейства. И случилось непоправимое...

Модель — этот неоценимый и бесспорный помощник инженеров и ученых — не сразу нашла признание. Видите, как недоверчиво относились к моделям не так уж давно — 100 лет назад. Мало того. В общеизвестном энциклопедическом издании — в словаре Граната, — даже в седьмом издании, возле термина «модель» стоит всего три слова: «См. литейное дело».

Когда же вы теперь говорите о моделях, то меньше всего имеете в виду литейное дело, литейные модели. Самолеты, станки, гидростанции, подъемные краны, ледоколы, ракеты, тракторы, прокатные станы — трудно даже перечислить все, что делают сегодня при моделировании.

Этим, казалось бы, детским увлечением занимаются ученые. Для моделей существуют строго научные определения. Одни из них называют вещественными, или физическими. Они воспроизводят в уменьшенных масштабах настоящую «натуру»: реальные сооружения, приборы, машины и т. п. — до мельчайших подробностей, до мельчайших деталей. Именно к ним, к вещественным моделям, мы все так привыкли. И они

во многом облегчают труд конструкторов, проектировщиков, инженеров самых различных специальностей.

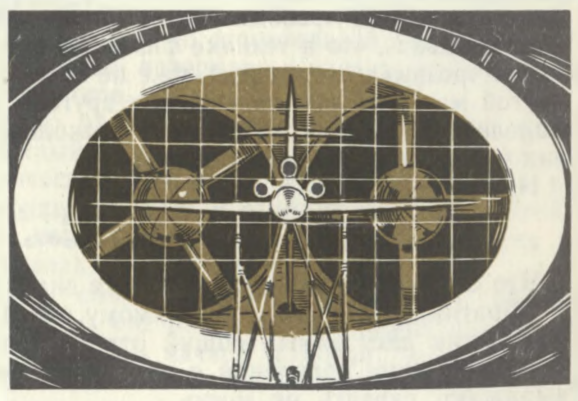
Модель проектируемого самолета — точное уменьшенное его подобие — помещают в аэродинамическую трубу, чтобы на этой «игрушке» определить важнейшие показатели: силу лобового сопротивления самолета, подъемную силу, силу тяги, вес и многое другое. Всего получают при испытаниях в аэродинамической трубе около 250 тысяч числовых характеристик! Все они имеют исключительно важное значение при расчетах нового самолета.

А вот другой пример модели, воспроизводящей физику процесса. Об этом рассказывал один из создателей этого направления в моделировании, лауреат Ленинской премии доктор технических наук В. Веников:

«Шел 1953 год. На Волге, около Жигулевских гор, строители приступили к сооружению гигантской гидроэлектростанции, носящей сейчас имя В. И. Ленина. Основной поток энергии от нее должен был передаваться в Москву по линии электропередачи длиною около тысячи километров. Перед учеными и инженерами возникло множество задач: как управлять выработкой и передачей электрической энергии, как обеспечить ее высокое качество, защитить оборудование от аварий и т. д.

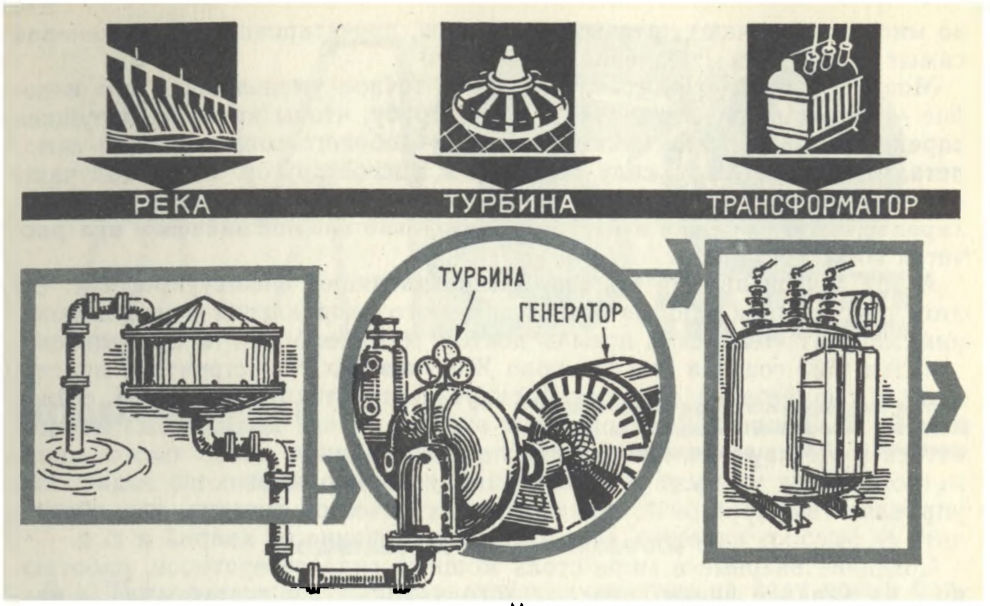
Создание впервые в мире столь мощных гидрогенераторов, работающих на дальние линии сверхвысокого напряжения, потребовало и разработки качественно новых управляющих и защитных элементов, и, в частности, регуляторов возбуждения генераторов.

В 1954 году пять вариантов опытных образцов таких регуляторов были созданы. Но где их испытывать? Каким образом выявить оптимальный? При всесторонних испытаниях необходимо воспроизводить предельные, то есть аварийные, режимы. А авария в энергосистеме — это застывшие станки, погасшие мартены, темные окна жилых домов. Для предотвращения аварии нужны защитные устройства и автоматические регуляторы, в частности и те, которые необходимо было испытать, и именно в аварийных режимах.



Вещественная или физическая модель — уменьшенное подобие реального объекта.

Выход был один — создать искусственную энергосистему, в которой все интересующие энергетиков процессы протекали бы точно так же, как и в будущей энерго-



Модель, воспроизводящая физику процесс

системе. Такая энергосистема, вернее, ее миниатюрная модель и была построена в Московоком энергетическом институте...»

Как говорится, лиха беда — начало. А начало было положено московскими гидроэнергетиками. А потом исследование всех крупных гидроэнергетических систем таких сооружений, как Волжская, Братская, Асуанская ГЭС, проводилось на физических моделях.

Доказывать, что в технике физические модели — инструмент исследования чрезвычайно важный, уже не приходится. Это знают все. Но есть другой мир моделей, совершенно другого качества и характера — мир моделей математических. У них несколько неожиданный для модели вид — вид математических формул.

Например:

$$a_1x_1 + b_1x_2 = c_1.$$
$$a_2x_1 + b_2x_2 = c_2.$$

Что скрывается за этими скупыми значками?

Обратимся за ответом по прямому назначению — к математику. Увы, математик даст самый общий ответ: «Это система из двух линейных алгебраических уравнений с двумя неизвестными. Но что именно она выражает, сказать не могу».

Обратимся за ответом к инженерам разных специальностей. Они ответят по-разному.



искусственная энергосистема.

Инженер-электрик скажет, что перед ним уравнения напряжения или токов в электрической цепи с активными напряжениями.

Инженер-механик уверен, что это уравнения равновесия сил для системы рычагов или пружин.

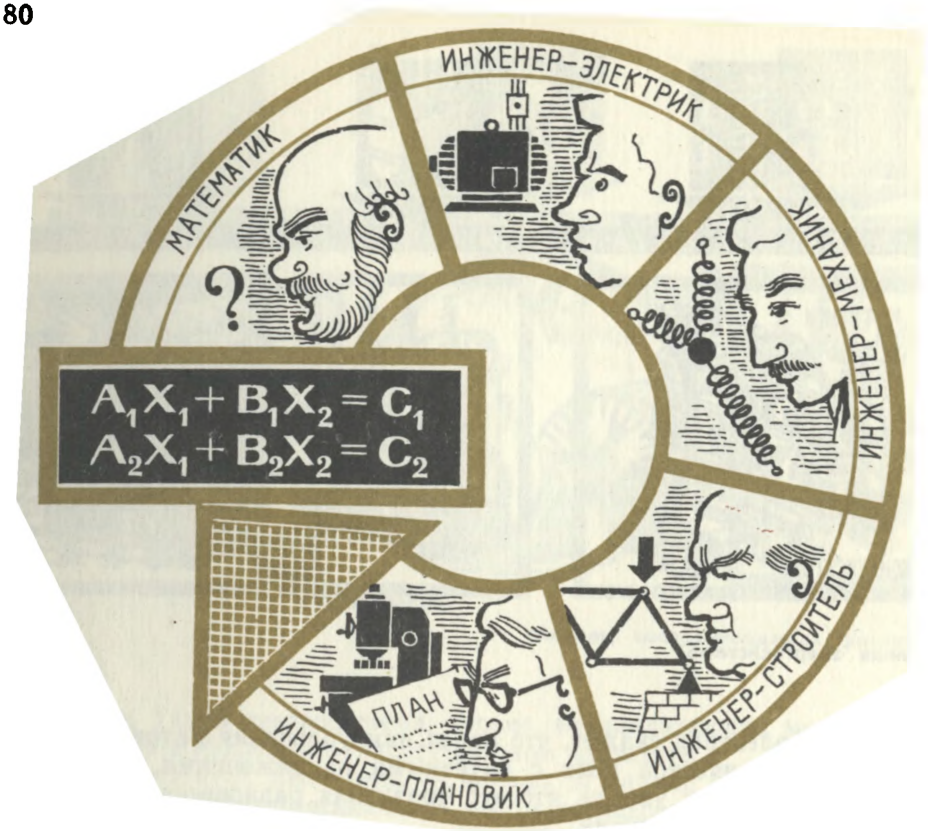
Инженер-строитель сообщит, что имеет дело с уравнениями, связывающими силы и деформации в какой-то строительной конструкции.

Инженер-плановик совершенно авторитетно заявит, что это уравнения для расчета загрузки станков.

Вот вам пять совершенно разных ответов. Какой из них правильный? Не удивляйтесь, каждый из ответов верен. Да, одна и та же система линейных алгебраических уравнений может отображать равновесное состояние и электрической цепи, и рычагов, и строительной конструкции. Все зависит от того, что скрывается за постоянными коэффициентами a, b, c и символами неизвестных — x_1 и x_2.

Как здесь не вспомнить слова знаменитого русского академика А. Н. Крылова: «Казалось бы, что может быть общего между расчетом движения небесных светил... и качкой корабля. Между тем, если написать только формулу и уравнения без слов, то нельзя отличить, какой из этих вопросов решается: уравнения одни и те же».

В поразительном математическом сходстве различных явлений заложены огромные возможности. Зачем строить скрупулезно точную



Модель может принять и несколько необычный вид — вид математических формул.

вещественную модель моста, собирать ее из тех же материалов и деталей, что и образец? Можно поступить проще, отбросить вещественное подобие, сделать модель того же моста в виде электрической цепи. Такая цепь — своеобразные моделирующие весы. И для «взвешивания» математической модели самыми удобными «весами» как раз и оказалось электричество. Современное электрооборудование отличается большой простотой и надежностью, точностью и чувствительностью. И это дало возможность строить электрические модели механических, тепловых, акустических и других явлений, непрерывно изменяющихся во времени.

Электрические модели строят из емкостей, сопротивлений и индуктивностей. Например, к цепи подводят токи, пропорциональные нагрузкам на конструкцию моста, в узлах цепи измеряют напряжения, пропорциональные деформациям ферм. И не нужно даже решать системы

уравнений, в которых эти деформации выражены неизвестными. Измерение вместо расчета — насколько проще и быстрее!

А если нужно рассчитать другой вариант? Изменяют величины сопротивлений, заново измеряют — еще один вариант готов. Таким способом за несколько десятков минут можно испытать множество вариантов конструкций.

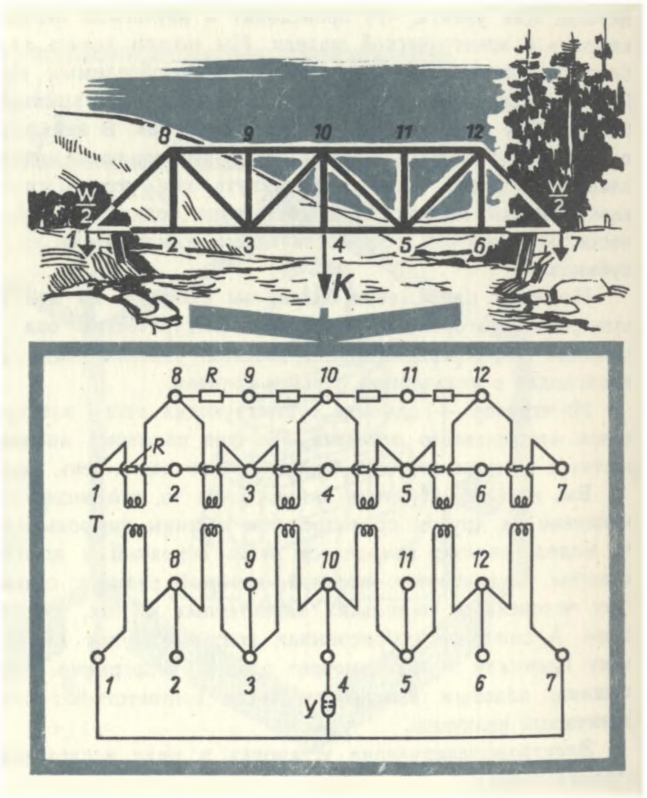
Электрические модели строят, например, для решения задачи движения самолета. Для десяти вариантов решений требуется ни мало ни много как семь месяцев работы десяти вычислителей. На электромоделирующей установке эту же задачу в тысяче вариантов решат десять человек и всего за четыре дня.

ТЕПЕРЬ РАЗБЕРЕМСЯ, КАК РАБОТАЮТ ЭЛЕКТРОМОДЕЛИРУЮЩИЕ УСТАНОВКИ, эти «математические зеркала», отражающие внутренние закономерности модели.

Начнем с простого примера. Исследуем напряжение в стальной балке, нагруженной подъемным краном. Как мы начнем проводить работу? Прежде всего геометрически выразим подобие балки и ее электрической модели.

Для этой цели служат непривычные «электрические кубики», которые специалисты называют магазинами сопротивлений. С помощью «кубиков» можно обрисовать любые фигуры: тело плотины, борт канала, лопасть турбины, крыло самолета, рельс...

Каждый из этих «электрических кубиков» представляет собой несколько катушек проволоки и конденсаторов, имеющих одно общее место соединения. Нужный контур ведется по местам соединений внутри «кубика» — по так называемым узловым точкам. К ним подключают источники



Электрическая цепь моделирует ферму моста.

тока, вызывающие различные явления в «кубиках». Электричество, действующее на каждый «кубик» модели через его узловую точку, заменяет и воду, и источник тепла, и механические усилия, — словом, оно та действующая среда, в которой находится изучаемая натура, образец.

Но что надо сделать, чтобы эти «электрические кубики» сложились в фигуры, соответствующие плотинам, деталям турбин и т. д.? Надо эти сооружения или части машин тоже разбить на «кубики», чтобы каждому определенному размеру исследуемого объекта соответствовало определенное число «электрических кубиков». Сделать это нетрудно по чертежам натуры.

Теперь вернемся к расчетам балки. По чертежу из «электрических кубиков» складываем ее геометрическое подобие и производим измерение. Для этого не нужны сложные переключения, соединения концов одного «кубика» с другим. Масса «электрических кубиков» располагается так, что «вырезание» любой фигуры производится мгновенно — просто обводится контур изучаемого объекта шнуром на установке с набором «электрических кубиков».

Универсальная электрическая модель обладает свойством проникать и в глубь детали. Как узнать, что происходит в изучаемой балке на глубине 10 *см*? Сделаем «дырку» в электрической модели. Мы можем делать на ней «дырки», какие нам заблагорассудится. Для этого отверстие необходимых размеров отмечаем по чертежу. Потом в соответствующем месте модели просто выключаем определенное число «кубиков». Так и образуется требуемая «дырка». В ней можно делать любые измерения, и они будут давать точный ответ на то, какие явления происходят внутри исследуемой балки. Чтобы проникнуть как угодно глубоко в «рану», нанесенную электрической модели, туда достаточно подключить провод. Делается это автоматически — нажатием соответствующего выключателя на установке из «электрических кубиков».

Исследуя напряжение балки, мы работаем на электромодели, которую называют электроинтегратором. С помощью электричества она «решает» — интегрирует — сложные дифференциальные уравнения, улавливающие малейшие изменения, которые происходят в мельчайшие отрезки времени.

Интегратор — один из существующих типов электрических моделирующих установок непрерывного действия. Их еще называют аналоговыми машинами. Семья их растет и совершенствуется буквально изо дня в день.

Вы, конечно, обратили внимание на то, что моделирующие машины работают совершенно на другом принципе, чем машины цифровые. В одной специальной книжке по моделированию приводится очень образный и доходчивый пример работы такой машины. Оказывается, портной, который снимает сантиметром мерку, измеряя фигуру человека в нескольких характерных местах, действует чисто цифровыми методами. А сапожник, обрисовывая контуры ступни на бумаге, поступает по аналоговому принципу — он измеряет плавно, непрерывно. Так же работает и аналоговая машина: плавным изменениям чисел соответствуют плавные изменения аналоговой физической величины.

Электромоделирующие установки в ряде исследований — прямо-таки чудесные избавительницы.

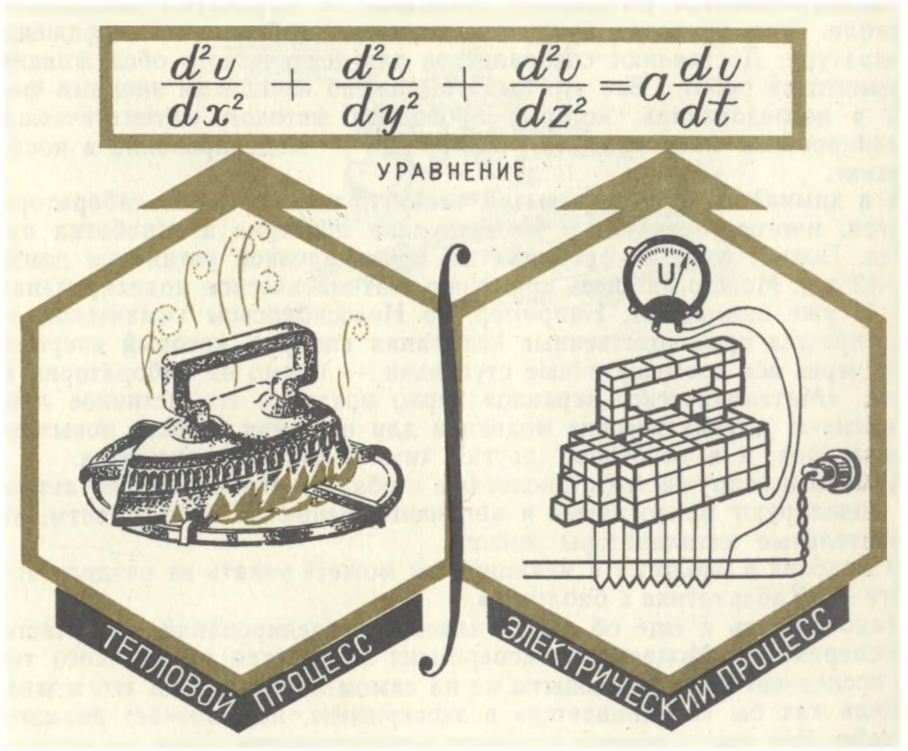
Возьмем тот же самолет, модель которого исследуют в аэродинамической трубе.

В результате испытаний ученые определяют так называемое уравнение движения самолета. Решить это уравнение — значит рассчитать заранее траекторию полета машины. Несмотря на множество характеристик, решить его было бы нетрудно, если бы силы, действующие на самолет во время полета, были постоянными.

Но ни о каком постоянстве не может быть и речи: самолет попадает то в нисходящие, то в восходящие потоки воздуха, его кидает из стороны в сторону, как судно на волнах. Непрерывно меняются и силы, действующие на самолет. Не постоянство, а непрерывное, ежемоментное изменение! И неповторимое!

А быстропротекающие процессы на электрической или электронной установке могут повторяться сколько угодно. Математическая модель помогает человеку стать властелином над временем. Она, прибегая к помощи «электрических кубиков», позволяет замедлять и ускорять динамические, непостоянные процессы, протекающие в натуре.

Замедлили моделирование — и перед глазами исследователя происходит то же, что перед человеком, смотрящим кинокадры замедленной съемки: исследователь узнает то, чего нельзя узнать без искусственного замедления.



Аналогия между тепловыми и электрическими процессами позволяет моделировать распределение тепла в телах самой сложной формы.

Ускорили моделирование — ускоряется процесс, который в действительности идет «черепашьим шагом», протекает чрезвычайно медленно, годами. А в «математическом зеркале» можно увидеть — и очень быстро, — что произойдет с плотиной, шлюзом, искусственным водоемом спустя несколько лет после их сооружения.

Вот почему неоспоримые достоинства математического моделирования безоговорочно принимают на вооружение ученые разных специальностей.

Физики находят подчас самые фантастические, с обычной точки зрения, области применения моделей. Достаточно назвать физико-математические модели плазмы — такого объекта, как говорят сами физики, непосредственное изучение которого весьма затруднительно и из-за ее особенности, специфичности, и из-за сложности и большой стоимости экспериментальных установок.

Целый космический поселок — 75 межпланетных станций — раскинулся вокруг Земли. Сюда стартуют с Земли ракеты. Между станциями поддерживается регулярное сообщение — курсируют космические корабли. Они привозят продукты питания, необходимое снаряжение, аппаратуру. Доставляют специалистов для технического обслуживания и ремонтных работ... Все это было выражено изящными знаками формул в исследованиях, которые проводили методом математического моделирования американские ученые. Это — моделирование в космонавтике.

А в химии? В химии привычна такая практика: после лаборатории долгая, многоступенчатая и многотрудная проверка и отработка процесса. Подчас путь от пробирки до промышленной установки длится 10—12 лет. Можно ли здесь применить математическое моделирование? Да. И уже применяют. Например, на Новосибирском химическом заводе прошел производственные испытания аппарат, который «перескочил» через все промежуточные ступеньки — прямо из лаборатории на завод. «Математическое зеркало» верно показало его истинное лицо. Применяют математические модели и для изучения свойств новых катализаторов, и в некоторых других химических экспериментах.

Химики в содружестве с биологами с обнадеживающими результатами моделируют прихотливые и капризные вещества — ферменты, эти удивительные катализаторы живого.

О моделях в биологии и медицине вы можете узнать из раздела этой книги — «Кибернетика в биологии».

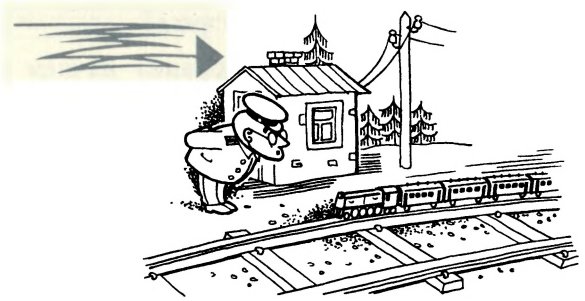
Надо сказать и еще об одном качестве моделирования, его участии в эксперименте. Модельный эксперимент отличается от обычного тем, что исследователь ставит опыты не на самом объекте, а на его модели. Модель как бы «вклинивается» в эксперимент, переключает внимание на себя. Это очень важное качество моделирования. Ведь на моделях можно экспериментировать даже тогда, когда объекты по каким-то причинам исследователю не подвластны: либо удалены от него (звез-

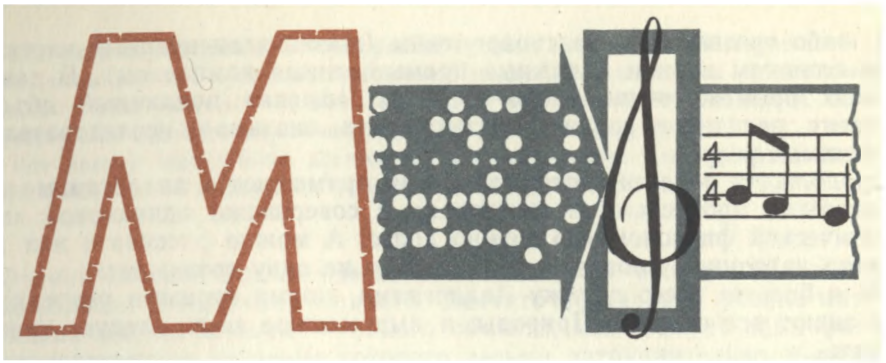
ды), либо чрезвычайно кратковременны (жизнь элементарных частиц), либо слишком велики (сложные промышленные комплексы). В таких случаях промежуточное звено — модель, заменяя подлинный объект изучения, расширяет границы эксперимента, оказывает исследователям неоценимые услуги.

Продолжать перечень того, где и как применяются аналогии между различными процессами и свойствами с совершенно одинаковой «математической физиономией» можно долго. А можно рассказ о них закончить короткими словами, прожившими не одну сотню лет:

«И я больше всего дорожу Аналогиями, моими верными учителями. Они знают все секреты Природы, и ими меньше всего следует пренебрегать...»

Эти слова принадлежат великому немецкому математику И. Кеплеру.





МУЗЫКА ЭЛЕКТРОННАЯ

Музыкальное произведение, созданное электронно-вычислительной машиной по программе, описывающей требования к заданному произведению.

КОМПОЗИТОР БЕЗ СЛУХА

Знакомство с «электронными композиторами» начнем с перечня некоторых наиболее «знаменитых» их произведений.

К ним относится «Сюита Иллиак» для струнного оркестра, написанная вычислительной машиной Иллинойского университета (США).

Четыре тысячи песенок под общим названием «Кнопка Берта» написала машина калифорнийской фирмы «Дадатрон».

Не отстала от своих «коллег» и машина Гарвардского университета, которая тоже пробует силы в сочинении популярных песенок. Ученые, которые с ней работают, не дали названия машинным творениям. Возможно, их смутил странный «творческий почерк» машины, когда одна песенка сразу же, никого «не предупредив», переходит в другую.

В отличном от своих зарубежных коллег стиле работает наш электронно-вычислительный «Урал». На этой машине написано уже немало музыкальных пьес, известных под названием «Уральские напевы».

Да, электронно-вычислительные машины пишут музыку. Как же они это делают? Разве они что-то понимают в сложных законах композиции? Неужели они могут обладать музыкальными способностями?

Все эти вопросы вполне закономерны. Попробуем в них разобраться. Начнем с последнего, с музыкальных способностей.

Оказывается, подчас сочинять музыку можно и... немузыкальными средствами. Тогда музыкальные способности, выходит, не очень нужны...

Два века назад, в 1751 году, английский музыкант Уильям Гейс написал сатирическое руководство «Искусство сочинять музыку исключительно новым способом, пригодным для самых захудалых талантов». Средствами приведения в действие этого руководства были жесткая щетка, которую надо обмакнуть в чернила, и самый обыкновенный па-

лец, которым следовало провести по щетке, чтобы чернила разбрызгались по нотной бумаге. Полученные кляксы претендовали на роль нот. К ним оставалось только добавлять тактовые черты, штрихи и прочие знаки, чтобы «сочинение» считалось законченным.

Несколько позже, в 1757 году, в Германии было издано другое руководство — опять-таки для сочинения музыки немузыкальными средствами. Автор его Кирнбергер. А называлось оно «Руководство к сочинению полонезов и менуэтов с помощью игральных костей».

Это руководство, в отличие от первого, было вполне серьезным. Автор составил даже специальную таблицу — нотный план. Она состояла из шести занумерованных колонок и восьми строк. Возле каждой колонки



Вальс, сочиненный Моцартом с помощью игральных костей.

стояла цифра, соответствующая одной из цифр на грани кости. А каждой строке соответствовал такт сочинения. В клетке таблицы автор записывал какую-то сочиненную им комбинацию нот. Бросание игральной кости давало случайное число от 1 до 6. Допустим, выпадала цифра 4. Тогда в клетке на пересечении колонки с номером 4 и первой строки (первого такта) находили комбинацию нот, которая и считалась первым тактом менуэта. Потом кости бросали еще и еще. До самого последнего, восьмого, такта — тогда менуэт считался законченным.

В 1793 году «Руководство, как при помощи двух игральных костей сочинять вальсы, не имея ни малейшего представления о музыке и композиции», написал Моцарт. Здесь опять «таблица чисел», где записаны ноты, и случайный подбор нот, записанных в клетках таблицы.

А разве машина не может «бросать кости» — выбирать числа из таблицы? Безусловно может, и делает это куда более быстро, нежели человек. Именно таким способом на одной из электронно-вычислительных машин подвергли обработке 37 гимнов, которые для нее были своего рода «таблицей чисел». Машина на их основе 6 тысяч раз «бросала кости». В результате было получено 600 новых гимнов. Правда, машина не стеснялась брать целые куски из одного гимна, реже из двух, трех. Такое «творчество», конечно, вряд ли можно назвать творчеством.

Как ни парадоксально, наиболее приемлемым для машины оказался метод Гейса — с помощью щетки и чернил, — но существенно усовершенствованный: ненужные кляксы-ноты разрешается зачеркивать.

Если машина будет действовать по этому принципу, то ее «память» надо снабдить хаосом звуков, из которого она по математическим правилам начнет выбирать нужные звуковые сочетания. Как вы уже догадались, и «хаос звуков», и звуковые сочетания в машине представлены в виде чисел. И конечно, для этого нужна очень строгая программа.

Но что же из этого получается? Разве нужна кому-нибудь такая примитивная музыкальная компиляция? Компиляция не нужна и не интересна. Однако есть и такие работы, которые признаны серьезными и от которых можно многого ожидать.

Именно к таким работам специалисты относят «Уральские напевы». Они интересны тем, что это попытка конструировать не только аккорды, как это обычно делалось, но и очень важную часть музыки — мелодию. Автор нового метода — советский ученый Р. Х. Зарипов. Вот в чем суть его метода, изложенного в весьма солидном и уважаемом издании — в «Докладах Академии наук СССР», в работе «Об алгоритмическом описании процесса сочинения музыки».

Р. Х. ЗАРИПОВУ, МАТЕМАТИКУ И МУЗЫКАНТУ, пришлось сразу же приспосабливаться к своему электронному «партнеру» — машине «Урал», поскольку любая машина решает лишь задачи, описанные математически, те, для которых существует алгоритм — неумолимое руководство к действию.

Значит, прежде всего надо в виде математических формул и логических отношений записать закономерности, принципы и правила композиции. Возможно ли такое? Возможно.

Уже давно люди подметили математические закономерности в музыке. Еще Кассиодор, живший в VI веке н. э., писал: «Музыка — это наука, рассматривающая числа относительно явлений, наблюдаемых в звуке...»

Как говорит предание, Пифагор, проходя мимо кузницы, услышал странные соотношения звуков, производимых ударами молота о наковальню. Прислушиваясь, он уловил, что интервалы соответствуют кварте, квинте и октаве. Попросив молотки, он взвесил их. Оказалось: вес молотков, дававших октаву, квинту и кварту, соответственно был равен $^1/_2$, $^2/_3$, $^3/_4$ веса самого тяжелого молота.

Открытое Пифагором соотношение, правда несколько уточненное, легло впоследствии в основу теории музыки.

На специальных приборах давно уже были изучены простейшие созвучия — аккорды. Созвучия оказывались тем «чище», приятнее для слуха, чем большей простой дробью выражается отношение чисел — колебаний в секунду, — соответствующих высоте каждого звука.

Так, высокое «до» имеет вдвое больше колебаний в секунду, чем низкое· ведь октава, как мы знаем, выражается всегда отношением $^1/_2$. Отношение $^2/_3$ дает квинту («до» — «соль»), отношение $^3/_4$ — кварту («до» — «фа»).

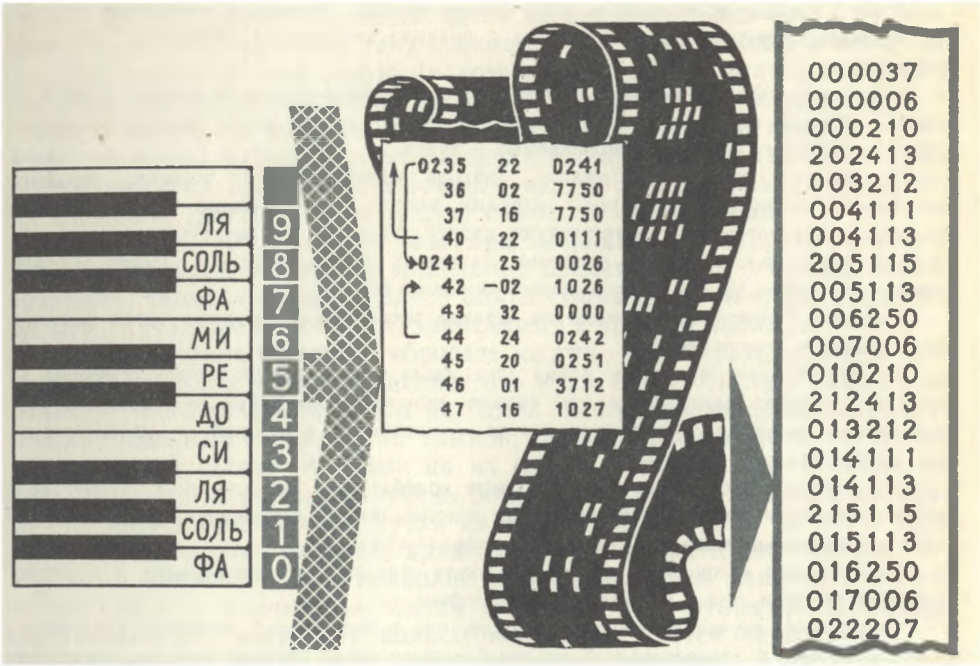
Известно, что и проблема гаммы на рояле связана с рациональными и иррациональными числами, что в музыке есть логарифмы.

Математики, изучающие музыку, нашли, что в популярных песенках содержится от 35 до 60 нот. А статистический анализ большого числа песенок показал, что структура их такова: имеется одна часть, назовем ее *A*, охватывающая восемь тактов и содержащая от 18 до 25 нот. Эта часть повторяется. За ней следует часть *B*, она тоже содержит восемь тактов, но состоит из 17—35 нот. После нее повторяется снова часть *A*.

Удалось установить и другие интересные закономерности. Если пять нот идут последовательно в возрастающем направлении, то шестая обязательно идет вниз, и наоборот. Другая закономерность: первая нота в части *A* обычно не является второй, четвертой или пятой минорной нотой в шкале. В песнях соблюдаются и давно подмеченные правила композиции, такие, как правила Моцарта: никогда интервал между соседними нотами не должен превышать шести тонов.

Каждому, наверное, случалось, слушая мелодию — иногда совершенно незнакомую, — угадывать следующую ноту. Чаще всего это случается с лирическими песенками. Специалисты о них говорят, что каждая последующая нота здесь несет меньше информации, чем, например, в музыке Прокофьева и Шостаковича, где мелодии насыщены неожиданными оборотами. Выходит, что и количество информации на одну ноту — численная величина, параметр, по которому можно судить о музыке.

Набором правил композиции, полученным из анализа музыкальных произведений, пользуются и при машинном сочинении музыки. Кроме того, с этой целью в «Урале» был предусмотрен специальный датчик случайных чисел. Он-то и предлагал закодированные цифрами наугад выбранные ноты. Каждая нота была обязана во что бы то ни стало «просеяться» через «решето» набора правил композиции. Машина



Несколько процессов перевода нот и музыкальных правил на язык машины: способ кодирования высоты нот; отрывок программы, записанной в виде чисел; он же — на отрезке перфоленты; результаты машинного сочинительства, записанные на бумажной ленте.

предлагает ноту, которую по правилам признают вполне «жизнеспособной»; пожалуйста, она допускается в нотную строку. Если не знающее пощады «решето» признает ноту непригодной, она отбрасывается, и вместо нее на «компетентный суд» идет другая. Такое «просеивание нот» производится до тех пор, пока мелодия не будет закончена.

Казалось, до чего легко и просто сочинять машинную музыку! Но сколько времени затратил Р. Х. Зарипов, чтобы составить для «Урала» программу! Для машины нужно было математически описать, что такое нота, принять определенные способы кодирования нот и других музыкальных элементов.

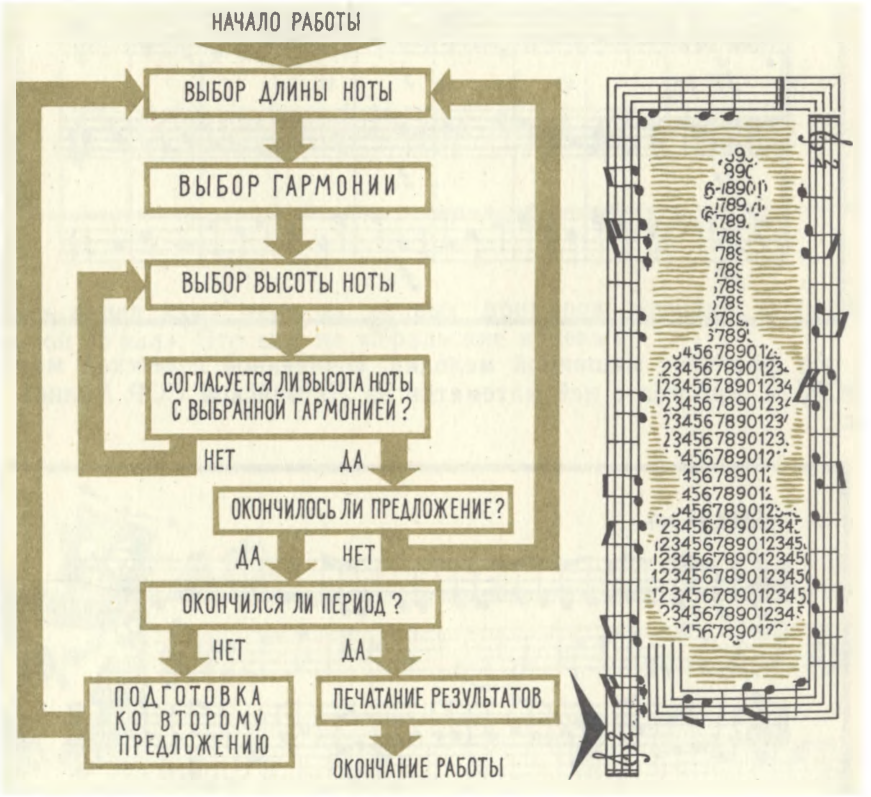
Для сочинения маршей и вальсов, которые потом были названы «Уральскими напевами», ученый любую ноту представлял в виде пятизначного числа: две первые цифры означали порядковый номер звука, третья — длительность звука, четвертая и пятая — высоту. Машине не разрешалось ставить подряд более шести нот, идущих или вверх, или вниз (вспомните правила композиции). Не разрешалось делать парные шаги, превышающие октаву. Не разрешалось... многое не разрешалось «Уралу». Что и говорить, машину держали в «ежовых рукавицах».

И все же она иногда выходила из повиновения. Р. Х. Зарипов рассказывает о таком случае. Научив «Урал» сочинять вальсы, он решил научить ее сочинять и марши. Но машина капризничала: вальсы писала, а марши нет. «Урал» попросту бастовал: останавливался, крутил без конца уже прочтенную ленту программы, но не выдавал никакой музыки. Оказывается, Зарипов в одной из строчек программы вместо числа 1777 поставил по ошибке 1177.

Значительная часть программы для машинного сочинения музыки была отведена под описание ритма. Описывать надо было два ритма: марш — на четыре четверти, вальс — на три. Предусмотрено было программой и число частей будущих пьес, и количество тактов в каждой части.

Программа занимала полностью оперативную «память» «Урала». В ней более двух тысяч команд. На каждую ноту приходится в среднем по 800 машинных операций. На сочинение всей мелодии — 30 тысяч!

А программа для синтеза мелодии на машине «БЭСМ-2» занимает несколько тысяч ячеек ее «памяти».



Упрощенная схема «машинной консерватории».

Когда машина, вооруженная программой, заканчивает конструирование своей мелодии, автоматическое печатающее устройство переносит ее в закодированном виде на бумажную ленту. Оттуда, расшифровав запись, переносят ее на нотную бумагу, обозначая ноты самыми обычными, издавна принятыми знаками.

Ну, а теперь познакомьтесь с образцами «музыкального творчества» электронных машин.

Это отрывок из второй части «Сюиты Иллиак».



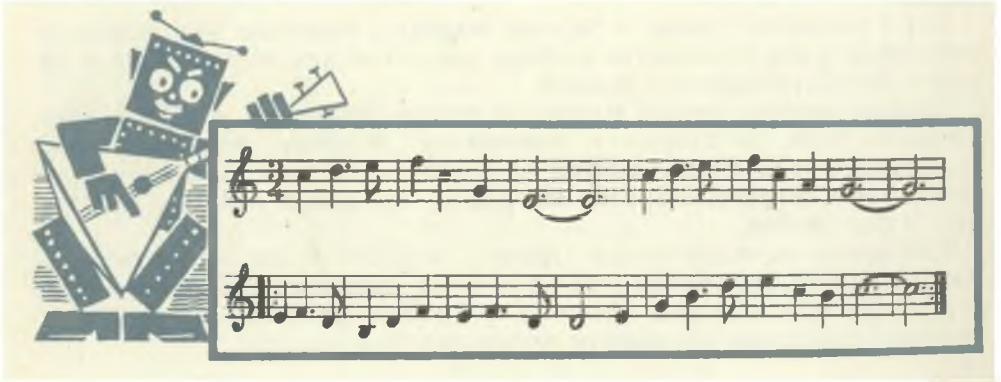
А это фрагмент машинной мелодии, сочиненной советской машиной «БЭСМ-2». Работал с ней математик из Латвийской ССР Вилнис Детловс.



Следующая запись представляет собой последовательность 32 тактов, отобранных американскими учеными Олсаном и Беларом из 44 тактов, полученных на электронной машине.



Здесь перед вами один из первых примеров мелодии, полученной машиной «Урал». Это еще не «Уральские напевы».



И, наконец, пример «Уральских напевов».



Теперь, когда вы познакомились и с тем, как сочиняет машина музыку, и с несколькими образцами ее музыкальных сочинений, остается сказать, зачем все это делают ученые, к чему столько усилий, результат которых — зачастую весьма примитивная музыка.

Дело в том, что вычислительные машины оперируют символами. Составные элементы музыки тоже символы. В музыке число символов относительно невелико, потому-то она и удобна для экспериментов на машине. Машина позволяет следить, как шаг за шагом, нота за нотой из простых элементов образуется мелодия. Машинная музыка дает возможность раскрыть самую природу построения мелодии, исследовать музыкальную форму, ладовые сочетания, провести исследование гармоний, строев. Машина — хороший инструмент, помогающий анализу творчества.

Вот и пытаются ученые в первую очередь с помощью машинного сочинения музыки проникнуть в сферу искусства для изучения его с новых — кибернетических — позиций.

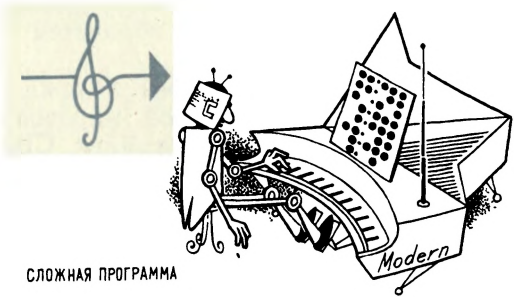
Именно поэтому теперь машине в музыке отводится довольно определенная роль: не творца, а помощника. Машина, например, легко справится с трудоемкой работой по переписке нотного текста из одной тональности в другую. Причем эту работу она может делать с партитуры... и без ошибок.

Электронно-вычислительной машине нетрудно будет справиться и с расшифровкой черновиков нотных записей, применяя для этого методы количественного анализа. Близка к этой работе расшифровка многочисленных магнитофонных записей музыкального фольклора.

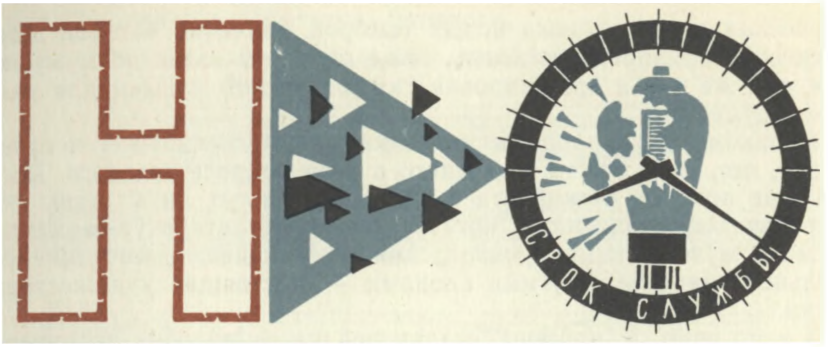
Творческая задача поиска новых тембров, значение которой для инструментовки трудно переоценить, тоже по плечу «электронному музыканту», так же как и аранжировка симфонической музыки для какого-либо инструмента.

Не слишком ли узки рамки у машин на «музыкальном поприще»? Пожалуй, нет, если учесть, как много в этом вопросе неясного. До сего времени не получен четкий ответ на вопрос, могут ли машины создавать произведения искусства, могут ли сочинять литературные, художественные и музыкальные произведения, произведения, имеющие самостоятельное значение, другими словами — настоящие художественные ценности.

Пока ясно одно. У машины, создающей некое подобие произведения искусства, нет потребности в творчестве: все начинается и заканчивается первым и последним тактом, предписанными программой. Машина может сочинить сотни, тысячи мелодий, но она не скажет нам с гордостью: «Вот лучшее, что мне удалось написать!»



СЛОЖНАЯ ПРОГРАММА



НАДЕЖНОСТЬ

Вероятность безотказной работы какого-либо устройства в течение заданного срока службы.

ПОКАЗАТЕЛЬ ДОВЕРИЯ

Не ищите слово «надежность» в Большой советской энциклопедии, вы его там не найдете. Почему? Да потому, что это слово совсем недавно превратилось в понятие, без которого не обходятся теперь ни наука, ни техника, ни промышленность.

Чтобы объяснить возникновение проблемы надежности, достаточно привести несколько фактов. Во время второй мировой войны 60% самолетного оборудования, переброшенного армией США на Дальний Восток, оказалось неисправным, а 50% оборудования и запасных частей вышло из строя на складах. Проверка показала, что радиолокационное оборудование находилось в неработоспособном состоянии 84% времени, гидроакустическое — 48%, радиосвязное — 14%.

Возьмем сразу, что называется, быка за рога и без всяких предварительных разговоров посмотрим, что же значит надежность. Объяснит это нам известный математик профессор Б. В. Гнеденко.

Если испытать несколько электронных ламп одного и того же типа и из одной партии на срок службы, то окажется, что каждая из них работает разное время. Заранее указать, какова величина безотказного времени работы той или иной лампы, нельзя. Можно только указать, сколько в среднем ламп из очень большого их числа проработает не меньше заданного срока.

Иными словами, для каждой лампы, так же как и для каждого другого изделия, срок службы представляет собой случайную величину. Ученые и должны вычислить вероятность безотказной работы устройства в течение заданного срока службы. Эту вероятность они называют надежностью.

Вспомните межпланетную космическую станцию. Сколь сложна ее

работа! И для того чтобы работа была еще и удачна, надо, чтобы все оборудование станции действовало безотказно в течение всего срока службы. Другими словами, все оборудование межпланетного посланца должно отличаться высокой надежностью — малой вероятностью выхода из строя какого-либо элемента.

Для оценки важности понятия «надежность» нам придется вести довольно тривиальный разговор о сложности мира современных машин и приборов. И придется для иллюстрации взять несколько примеров.

Обычная электронная лампа — в ней от 60 до 90 деталей. А например, бортовая аппаратура пилотируемого корабля «Восток» весом 2000 *кг* (при весе корабля 4625 *кг*) имела 300 приборов, содержащих 240 электронных ламп, 6300 полупроводниковых устройств, 760 электромагнитных реле и переключателей. И вся эта сложнейшая аппаратура должна была работать длительное время в условиях значительных перегрузок, вибраций, резких изменений температуры и давления. Не случайно ученый-космонавт, доктор технических наук К. П. Феоктистов писал: «Надежность стала для космонавтики тем, чем является для человека воздух: без надежности она просто не могла существовать».

Продолжим наши примеры.

Электронная вычислительная машина состоит из десятков тысяч ламп, полупроводниковых диодов и триодов, сопротивлений, соединений, спаек.

Система управления американского межконтинентального снаряда «Атлас» содержит более 300 тысяч элементов.

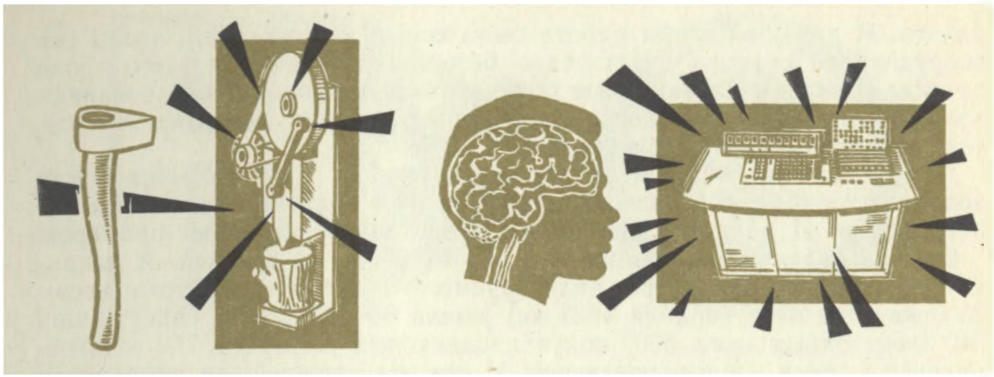
И надежность подобных комплексов определяется самым слабым его элементом! Тем, который скорее всего выйдет из строя. А как знать, какая же из множества деталей окажется самой слабой? Взять хотя бы «Атлас». Если каждый его элемент в среднем может проработать безотказно десять тысяч часов, то даже тогда за каждые две минуты можно ждать одной неисправности, одного отказа в работе.

Выходит, чем сложнее система, тем менее она надежна? По этому поводу известно остроумное замечание академика А. И. Берга о преимуществе в надежности каменного топора перед современными агрегатами: в каменном топоре нечему выходить из строя.

Академик Берг приводит и другой пример, из которого видно, как надежность каждого элемента в машине влияет на ее надежность в целом.

Испытывали один из образцов электронно-вычислительной машины. Результаты были малоутешительными, она не соответствовала требованиям надежности. Стали искать причину. Оказалось, что недостаточно надежны самые массовые детали — непроволочные сопротивления.

Для изготовления этой простой детали идет девять материалов: керамика, латунь, эмаль, абразивные камни и другие. Каждая деталь проходит двенадцать технологических операций, любая из них влияет на надежность.



В топоре по сравнению с современным агрегатом нечему выходить из строя. И мозг в определенной степени надежнее ЭВМ.

В образце машины, проходившем испытания, было около 600 тысяч непроволочных сопротивлений. Подсчитаем теперь, сколько же факторов влияет на надежность этой машины только от одних сопротивлений: $600\,000 \times 9 \times 12 = 64\,800\,000$! Гигантское число! А ведь в машине еще десятки тысяч других деталей...

Надежность работы сложных систем и машин для каждой отрасли определяется по-своему. В измерительных приборах ее определяет точность показаний, в гидрооборудовании — безотказность при разных режимах работы. Надежность же электронно-вычислительных машин определяют точность приема, обработки и выдачи готовой информации.



Классификация изделий в теории надежности. Одни изделия — элементы радиоаппаратуры, приборы, сопротивления, детали машин, подшипники — не восстанавливаются. Другие — электронные вычислительные и управляющие машины, автомобили, станки — восстанавливаются. Третьи — например, бортовые устройства ракет или спутников — не восстанавливаемые в полете, восстанавливаются при хранении или подготовке к старту.

Если работа вычислительного устройства ненадежна, жди ошибок, искажений.

Все изделия, изготовленные человеком, обладают, пусть хоть самой малой, ненадежностью. Поэтому перед наукой и техникой встает вопрос, как повысить надежность.

ЕСТЬ НЕСКОЛЬКО ПУТЕЙ, ПО КОТОРЫМ ИДУТ К ЭТОЙ ЦЕЛИ. Прежде всего — постоянное повышение надежности каждого элемента, каждой детали в агрегате, в системе. Чем надежнее звено, тем надежнее цепь в целом. Но не всегда этот показатель надо повышать любыми средствами, любыми путями. Не всегда это оправдано экономически.

Как же поступать тогда? На первый взгляд, совершенно неправдоподобно: построить надежно работающую машину из недостаточно надежных элементов. И над этим «неправдоподобным» решением работают ученые. Вот как применяют его к логическим машинам на «релейных элементах».

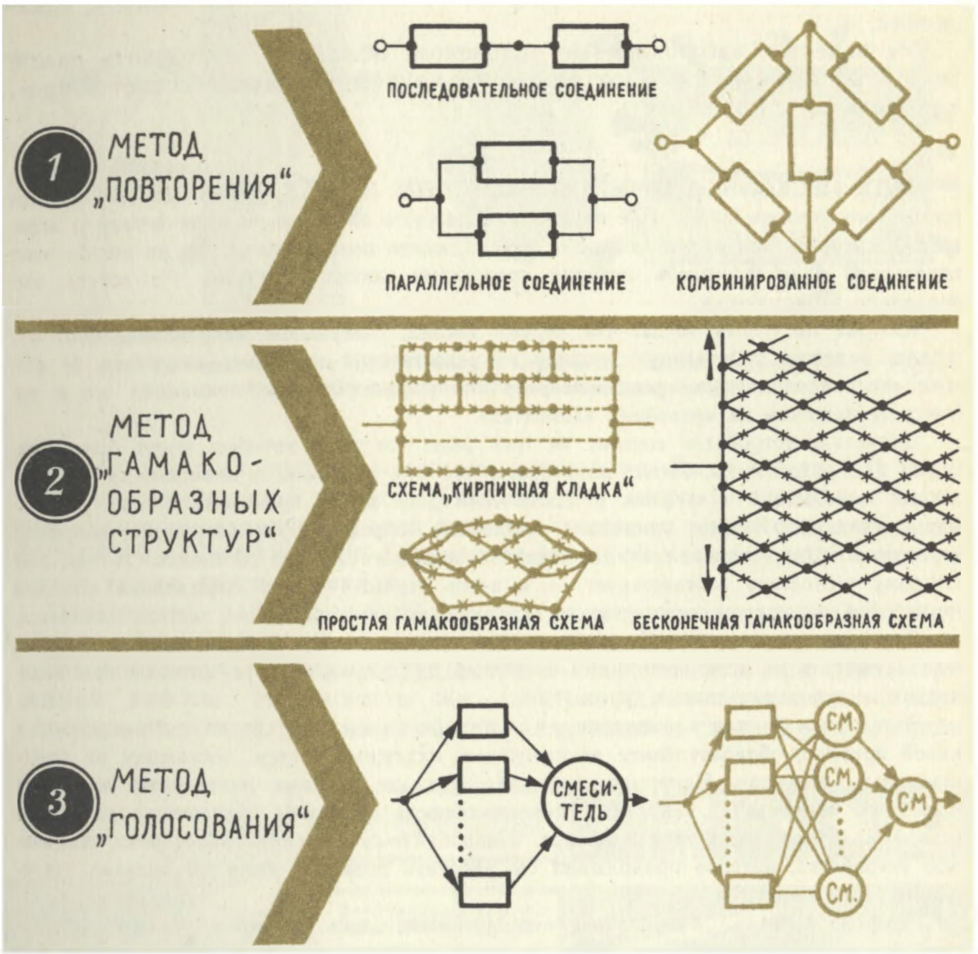
Допустим, устройство состоит из трех реле, контакты которых могут быть замкнуты или разомкнуты. Легко подсчитать, что эти контакты в зависимости от различных комбинаций включения и отключения реле могут принимать восемь различных состояний. Каждое состояние выполняет определенную операцию, например управления. Повреждение любого контакта вызывает другое состояние. А так как каждому состоянию соответствует — и очень строго — своя собственная команда управления, то повреждение приведет к неправильной команде — система ошибется.

Есть ли здесь выход? Есть. Он заключается в том, что надо увеличить число реле и выбрать из всех возможных состояний для управления те, которые при искажениях не переходят одно в другое.

Этот прием — так называемое р е з е р в и р о в а н и е — сродни дублированию в живой природе, обладательнице великолепных надежных систем, состоящих из менее надежных элементов. Например, мозг человека как система неизмеримо надежнее отдельного элемента — нейрона: работоспособность организма сохраняется даже при выходе из строя миллионов нейронов. Попробуйте-ка отыскать какое-либо техническое устройство, которое продолжало бы работать исправно, если бы отказал всего-навсего один элемент!

Резервирование — направление перспективное, здесь получены немалые результаты, ждут бо́льших. И все-таки, по мнению специалистов, путь к достижению высокой надежности другой.

Нельзя ли создать такую систему, машину или устройство, которое бы автоматически предупреждало о вероятности выхода из строя части, детали, узла? Мало того: нельзя ли автоматически и включать резервную часть, узел, деталь в работающую систему? Ведь включает же живой организм сам резервные каналы, исключая опасность простоя. Работы и в этом направлении уже ведутся. Сегодня некоторые машины сами контролируют ход выполняемых операций и подают предупредительные сигналы о каких-либо неисправностях. Другие машины сами умеют проверять свои электронные устройства, обнаруживая при этом 99,9% ламп или иных деталей, могущих выйти из строя.



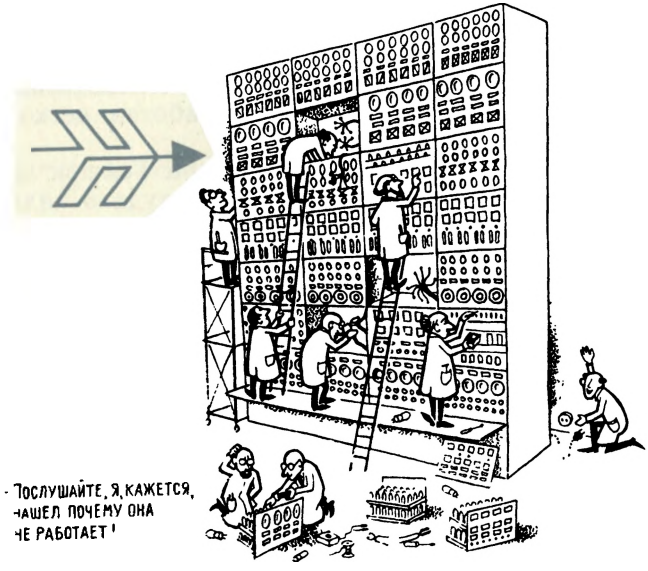
Резервирование бывает разным. При «повторении» строят новую систему и подключают ее различными способами. Метод «гамакообразных структур» спасает, если повреждения могут произойти и в основной, и в резервной структурах. «Голосование» предусматривает замену всего устройства или блока одинаковыми и подключение еще специальных устройств — смесителей.

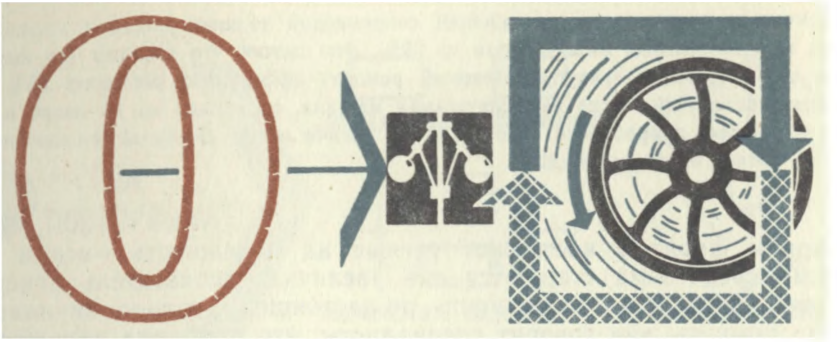
В институте автоматики и телемеханики Академии наук СССР группа ученых во главе с академиком В. Трапезниковым создала цифровую вычислительную машину, которая в случае неисправности сама себе ставит «диагноз». Если отказал какой-то узел или вышла из строя деталь, то сразу становится известным место повреждения.

Применение такого рода достижений современной техники подняло надежность больших вычислительных машин почти до 98%. Это значит, что машины (за вычетом времени на осмотры и предупредительный ремонт) эффективно работают 85% времени. Известен случай, когда вычислительная машина, состоящая из 13 тысяч микроэлектронных схем, проработала безотказно 33 тысячи часов. Большой показатель надежности, хотя и не предельный!

●

Широким фронтом наступают ученые на надежность — всеми возможными средствами стараются они увеличить «показатель доверия» к машине. Борьба за надежность по-настоящему только начинается. Но надо помнить, как говорят специалисты, что проблема надежности, будучи удовлетворительно решена сегодня, по-новому возникнет завтра и никогда не будет снята, пока используемые человеком технические средства будут совершенствоваться и усложняться.





ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ

Воздействие выходной величины какой-либо системы на вход этой же системы.

ОТ КОНЦА К НАЧАЛУ

Звали его Гемфри Поттер. У него был скорее всего деятельный характер, и он не любил однообразия. Именно поэтому мальчику надоела та работа, которую он выполнял на одной из английских шахт, когда там откачивали воду: Гемфри Поттер открывал и закрывал краны парового котла.

Почему он это делал? Да потому, что два с половиной века назад — тогда-то и жил Гемфри — паровой котел работал несколько отлично от современного.

Пар из котла поднимал поршень в цилиндре. Гемфри закрывал кран для пара. И тут же открывал другой кран, откуда в цилиндр шла холодная вода. Пар конденсировался, образовывалась пустота, атмосферное давление давило на поршень, он шел вниз, передавая свое движение насосу. Потом Гемфри Поттер опять открывал и закрывал поочередно краны... И так целый день-деньской.

Согласитесь, работа не из интересных. И, естественно, она ему надоела. Сообразительный мальчик решил освободить себя от нее. Он соединил веревочками краны со штоком поршня. При движении штока вверх или вниз веревочки натягивались и открывали или закрывали краны в нужной последовательности.

В технике есть условные, специфические понятия «вход» и «выход» у машины. У паровой машины вход — это подача пара, а выход — движение поршня. Теперь вам будет понятно строго научное определение, которое дано в начале раздела. Когда вход с выходом связаны, осуществляется обратная связь.

Это и сделал, как говорит легенда, английский мальчик Гемфри Поттер. Он открыл обратную связь, нащупал систему автоматического регулирования.

Обратная связь — основа основ современной техники. Трудно назвать

какую-либо ее область, где бы не нашла применения обратная связь. Регуляторы температуры поддерживают нужную температуру. Регуляторы давления — заданное давление. Регуляторы скорости — требуемое число оборотов вала. Регуляторы напряжения — постоянство напряжения в электросети.



Обобщенная схема устройств с обратной связью.

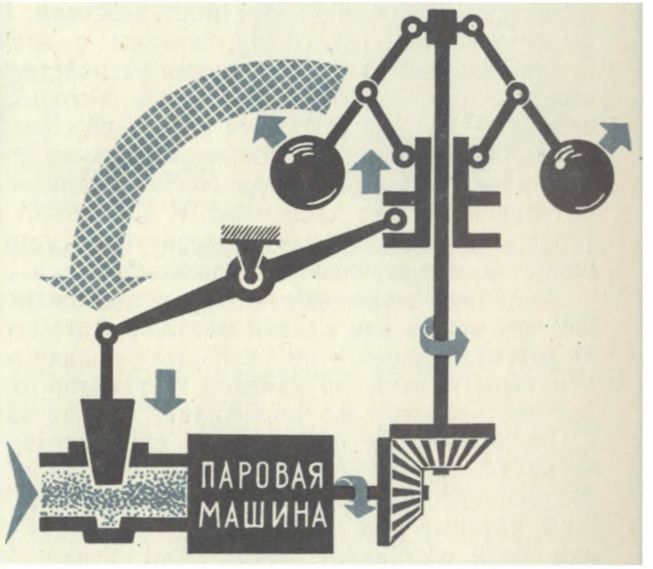
И всегда и везде регулятор с обратной связью чрезвычайно «внимателен» и «пунктуален». Все операции, которые он обязан делать, регулятор производит с нечеловеческой точностью.

Можно привести много примеров разнообразных систем автоматического регулирования. Они различны по конструкции, принципу действия и назначению, но взаимодействие между управляющим устройством — регулятором — и управляемым объектом однотипно.

ПЕРЕД ВАМИ СХЕМА РЕГУЛЯТОРА УАТТА.

В течение почти двухсот лет этот механизм служит примером изящества и простоты обратной связи.

Вспомните, как Джеймс Уатт построил паровую машину с центробежным регулятором скорости, который приводился в движение от работы вала машины. Так вот, в этой машине в зависимости от числа оборотов вала шары регулятора под действием центробежной силы расходятся то больше, то меньше. С ними соединена подвижная муфта. Через систему рычагов она передвигает задвижку трубы.



Регулятор Уатта — пример изящества и простоты системы с обратной связью.

Регулятор настраивается на заданное число оборотов вала. Если почему-либо скорость вала увеличилась, шары разойдутся, потянут муфту вверх — задвижка опустится. В машину начнет поступать меньше пара, и число оборотов вала снизится до нормы.

Если, наоборот, вал начал вращаться медленнее, чем нужно, регулятор поднимает задвижку, и поступление пара в машину увеличивается — увеличивается до нормы и число оборотов вала.

На примере машины Уатта показана схема управления с обратной связью. Здесь, в системе автоматического регулирования, паровая машина — управляемый объект. Через систему рычагов и задвижку — это прямая связь — регулятор посылает управляемому объекту сигнал управления: выход регулятора воздействует на вход объекта. Через вертикальный валик — он осуществляет обратную связь — регулятор получает от машины сигнал о результате своего управляющего действия: теперь выход управляемого объекта «докладывает о своем поведении» на вход регулятора. Получается своего рода замкнутый круг, некое «кольцо связи».

Некоторые специалисты образно сравнивают обратную связь с двумя сердитыми друг на друга собаками. Одна из них, допустим черная, кусает за хвост белую собаку. А белая, не захотев уступить противнику, кусает за хвост черную. Тот же круговой процесс, в котором одна собака является цепью обратной связи по отношению к другой.

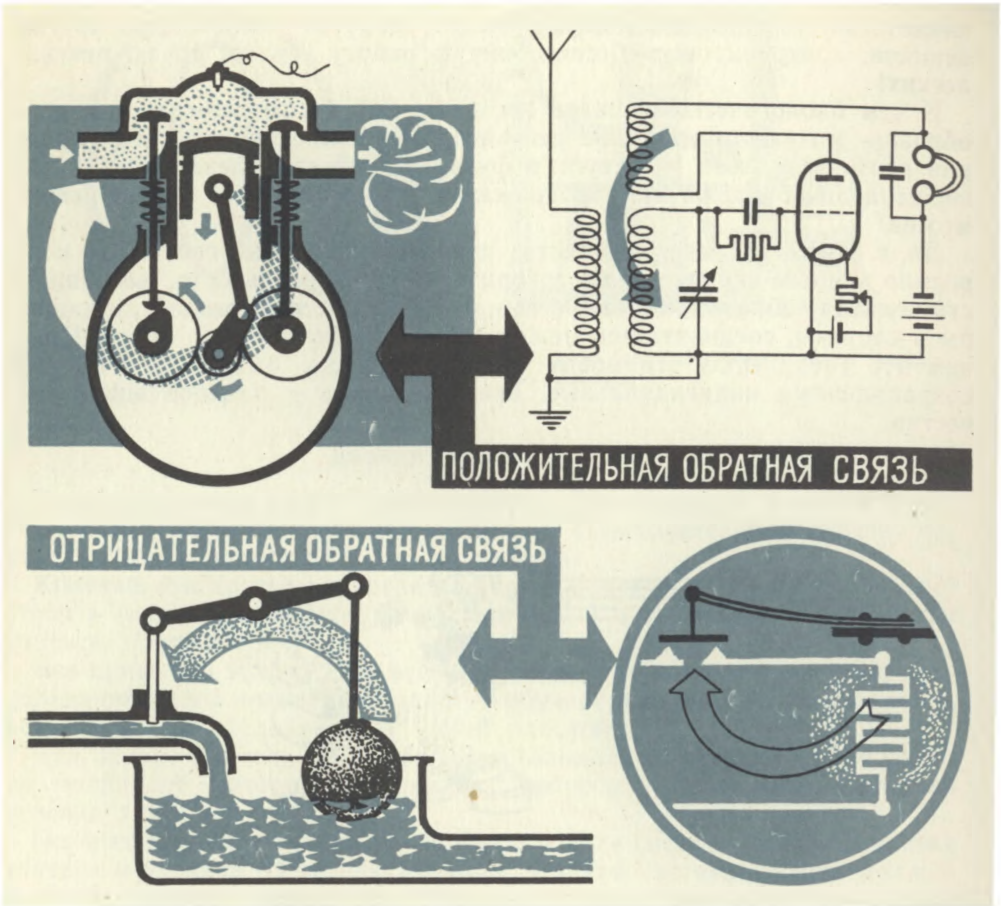
Такая обратная связь называется положительной. В ней протекает нарастающий процесс обратного действия. Еще одним примером здесь могут служить тормозные системы с внешним источником энергии. В них применяются специальные устройства, отзывающиеся (реагирующие) на небольшие перемещения, которые производят вручную. Эти перемещения продолжаются до тех пор, пока тормозное усилие не станет достаточным для остановки движущейся машины.

Обратную связь, где процесс затухает, уменьшается, называют отрицательной. Она-то чаще всего и применяется в автоматических регуляторах — и в регуляторах температурных уровней, и в регуляторах числа оборотов, и в регуляторах давлений, и т. п.

Допустим, в электропечи вдруг повысилась температура, стала больше, чем нужно для плавки металла. Автоматический регулятор действует «отрицательно» — он уменьшает подачу электроэнергии. А если температура в печи понизилась, регулятор опять срабатывает «отрицательно» — он тут же увеличивает подачу электроэнергии.

Сколько бы ни приводилось еще примеров, они ничего не добавят к сказанному об обратной связи. Всегда перед нами будет регулятор, настроенный на определенное число оборотов или определенный режим, который при его нарушении посылает сигнал управления, а обратная связь доставляет регуляторам сигналы о результате управляющего воздействия.

С появлением кибернетики границы применения понятия «обратная



Обратные связи: в двигателе внутреннего сгорания — механическое устройство; в регенеративном радиоприемнике — электрическое устройство; регуляторы уровня и температуры — устройства с отрицательной обратной связью.

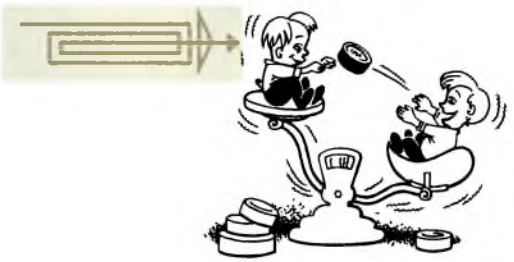
связь» неизмеримо расширились, распространившись на такие «нетехнические» науки, как биология или экономика.

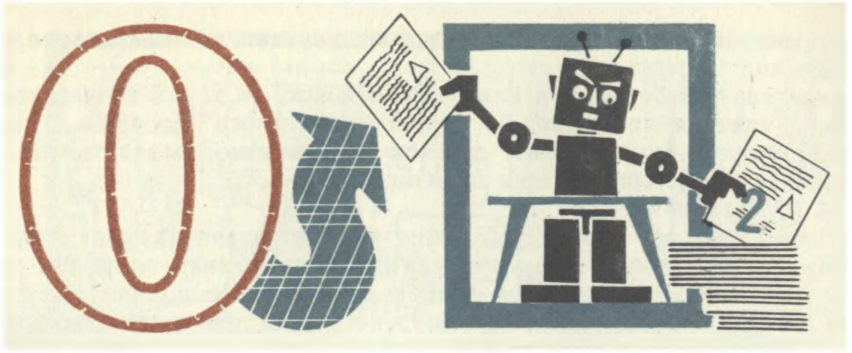
Пожалуй, самой сложной системой с обратными связями является живой организм. Сколько в нем регуляторов и управляемых объектов! Сколько в нем взаимосвязанных положительных и отрицательных обратных связей! Со сколькими наитруднейшими задачами приходится организму справляться: распределять мышечные нагрузки, чтобы сохранять заданное положение тела; реагировать на малейшие отклонения давления в кровеносных сосудах; «отвечать» на жару и холод;

следить за сохранением в норме кислот, щелочей и множества других веществ; контролировать бесперебойную работу сердца, почек, печени, легких!

И чем биологически сложнее организм, тем более сложны и многообразны его «автоматические регуляторы». Можно сказать, что обратная связь не только участвует в физиологических явлениях, но и совершенно необходима для продолжения жизни. Без нее жизнь невозможна!

Да, в самых различных областях действуют обратные связи. Это позволило ученым-кибернетикам говорить об универсальности, всеобщности понятия «обратная связь», о том, что она действует везде, где машины и системы, соединившись между собой, образуют нечто новое. Причем это соединение, эти новые системы должны быть органичными, сохраняющими индивидуальные, прежние черты и дающие новое качество.





ОБУЧАЮЩАЯ МАШИНА

Машина для обучения людей знаниям и навыкам.

ДВОЙКУ СТАВИТ АВТОМАТ

В книге отзывов нашего павильона на Брюссельской всемирной выставке бельгийские мальчишки написали: «Постройте, пожалуйста, машину, которая помогла бы нам не учиться».

Конечно, эта просьба никогда не будет удовлетворена, никто не будет строить машину, помогающую не учиться. А вот машина, помогающая учиться, построена.

Все привыкли к тому, что всегда и везде, где чему-нибудь учат, преподавание ведет человек. И вдруг — обучает машина. И оказывается, она прекрасно справляется со своей работой.

Что делает учитель на уроке? Рассказывает о предмете. Для этого он подбирает материал, составляет вопросы. Затем проверяет, как усвоена тема.

Процесс обучения можно представить в виде системы взаимодействия учителя и ученика. В результате работы такой системы ученик должен получить знания. Система эта отнюдь не простая, как может показаться на первый взгляд, а очень сложная. Между учителем и учеником устанавливается прямая и обратная связь.

Прямая связь выражена каналом, по которому учитель вам передает знания: лекции, упражнения, лабораторные и практические занятия.

Обратная связь — путь от ученика к учителю. Она нужна для самоконтроля, для понимания учеником того, как он усвоил материал.

И вот, оказывается, урок, обычный урок, на котором вы присутствуете, — это процесс в большинстве случаев с плохой обратной связью. Обучая, преподаватель часто не знает, как его ученики усваивают материал. А не зная, он не может правильно строить учебный процесс в зависимости от ситуации, которая складывается.

Специалисты уже установили: чтобы процесс обучения шел успешно, каждый ученик, например на уроке родного языка, должен за 20 минут,

в которые учитель объясняет материал, получать до 100 подкреплений-воздействий.

Представьте себе, если в классе 30 человек, то таких воздействий со стороны учителя за те же 20 минут насчиталось бы 4500. Выходит, преподаватель, как автомат, должен ежеминутно выдавать 225 подкреплений! А это практически невозможно.

Где же выход?

Выход в том, что процесс обучения поддается так называемому программированию, когда весь урок или раздел учебника подробно расписывается с точным указанием о порядке и способе подачи материала. Имея такую подробную программу, нетрудно заставить электронные машины выдавать учащимся необходимый им материал для усвоения какого-либо предмета, задавать вопросы и тут же оценивать знания учеников.

Чтобы понятен был принцип работы обучающих машин, посмотрим, как работает самая простая из них.

В машине перемещается лента с вопросами, а для ответов — чистая бумага. Ученик, ответив на вопрос, должен повернуть рукоятку. Ответ уйдет под прозрачную пластину, исправить его уже никак нельзя. На ленте же появится правильный ответ и следующий вопрос.

А теперь познакомимся с электронным «Репетитором». Он помогает в изучении иностранного языка. Учащийся нажимает кнопку, и на экране появляется фраза на иностранном языке с пропущенным словом, которое надо найти и вставить. Если ученик ошибается, машина просигналит ему красной лампочкой. Значит, надо нажать на кнопку с заманчивым словом «Подсказка». Но не надейтесь на нее. Шпаргалки не будет. На самом деле то, что сделает машина, — это не подсказка. Вы получите наводящие вопросы — помощь, чтобы вспомнить пройденное.

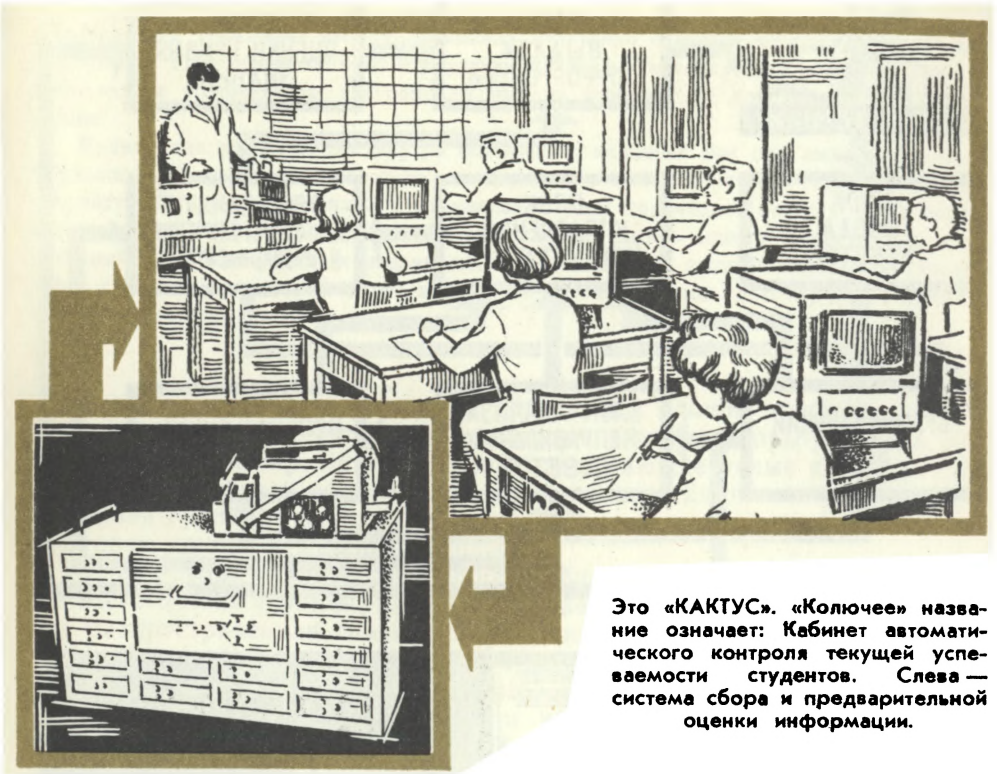
Машина такого же типа успешно обучает без преподавателей даже всем математическим операциям, которые производят на логарифмической линейке.

На машинах устанавливают и другие кнопки. На табло машин загораются и другие надписи: «Правильно», «Вы ошиблись». А если вы по какой-то причине задержались с ответом больше, чем установлено, машина вежливо предупредит: «Долго думаете».

Машина-«педагог» может отметить и правильность ответа, и зафиксировать время, потраченное на его подготовку, и восстановить на карточке оценку знаний, и иногда... отправить на переэкзаменовку.

Чем не экзаменатор? Есть машина, которая может принять экзамены по 1025 билетам — практически по всем предметам, какие выносятся на большую экзаменационную сессию в вузе.

Все больше и больше используется машин для обучения. От отдельных экспериментов переходят к широкому применению обучающих машин. Уже много лет программированное обучение ведется в сотнях ин-



Это «КАКТУС». «Колючее» название означает: Кабинет автоматического контроля текущей успеваемости студентов. Слева — система сбора и предварительной оценки информации.

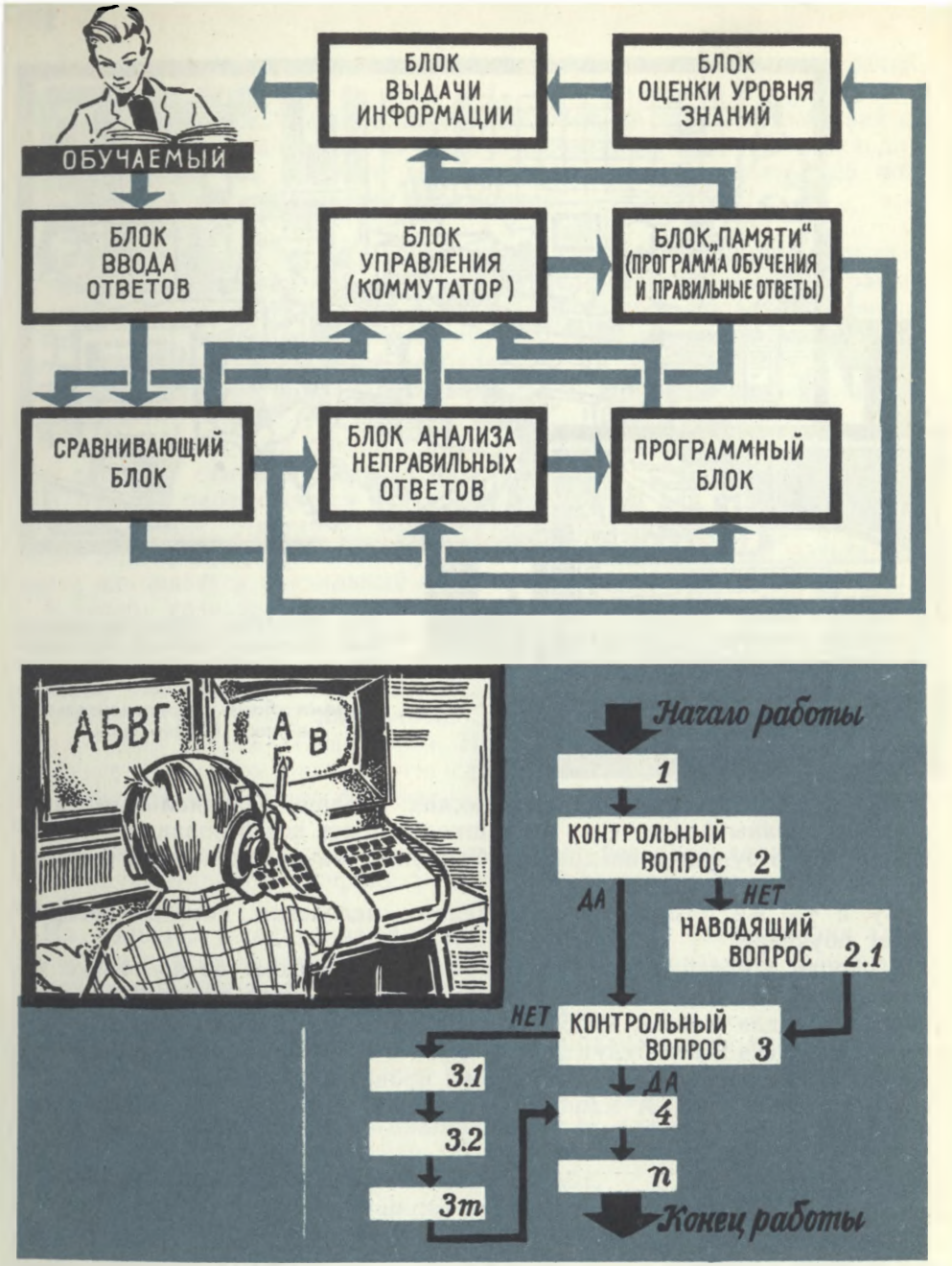
ститутов и профессионально-технических училищ. Специальные классы оборудованы более чем в 1000 школах. Есть все основания предполагать, что в будущем внедрение обучающих машин в учебный процесс станет повсеместным.

Ну, а что же тогда будет с учителем — человеком, который сегодня ведет обучение?

Его роль с внедрением самых совершенных автоматов не только не уменьшится, но и обогатится новыми задачами. Ведь надо составлять программы для машин, надо эти программы все время совершенствовать. И конечно, это будут делать педагоги. Педагог по-прежнему будет играть важнейшую роль и во всем процессе образования, и в главном — в воспитании. А машина в обучении будет его надежным помощником.

КАК РАБОТАЕТ МАШИНА, ВЕДУЩАЯ ОБУЧЕНИЕ?

Обучающийся получает тему. Она содержит теоретическую часть, решенный пример и задачу. Как только ученик решит задачу, он набирает на пульте номер своей



Блок-схема работы обучающей машины «Репетитор» и путь обучения на машине от начала и до конца работы.

темы и ответ. Нажимает кнопку, и машина мгновенно отвечает «правильно» или «неправильно». При правильном ответе ученик переходит к следующей теме. От темы к теме задача усложняется. Ни одну из них не усвоишь, не проработав все предыдущие.

Видите, как много связей внутри обучающей машины? Все они выходят на блок управления. Когда ученик «вводит» ответ, на него «набрасываются» сразу несколько устройств обучающей машины. Сравнивающий блок сравнивает ответ с правильным, который есть в «памяти». Если ответ правильный, сигнал идет в блок оценки, если неверный, — в блок анализа неправильных ответов. Блок выдачи информации только тогда сработает, когда ваш ответ машина изучит всесторонне. Это строгий и взыскательный «учитель».

Не одна — несколько сот видов обучающих машин, простых и сложных, уже построено. Есть и миниатюрные «экзаменаторы-учителя», величиной с портсигар. Есть и большие, занимающие целые комнаты. Обучающие машины в зависимости от назначения делят на группы.

Первая группа — простые механизированные устройства.

Вторая группа — машины-тренажеры.

Третья группа — контролирующие и обучающие машины. Здесь больше всего машин-экзаменаторов для проверки знаний учащихся. Наиболее распространенная среди них — машина «Ласточка».

Но обычно названия говорят сами за себя: «Лектор», «Консультант», «Тренажер», «Репетитор», «Контролер», «Экзаменатор». Есть и универсальные «машины-педагоги»: они и контролируют, и консультируют, и экзаменуют.

Четвертая группа обучающих устройств наиболее сложная — это классы программированного обучения.

Познакомимся с одним из них — «Аккордом». «Аккорд» никакого отношения к музыке не имеет. Зайдем в него. Перед нами «Автоматизированный класс контролируемого обучения с разветвленным дозированием».

Тридцать столов. На каждом — маленький пульт с лампочками и рычажками. Большой пульт преподавателя соединен с маленькими.

Перед каждым учащимся — глава из «обучающей программы», которую он должен усвоить. В конце главы — вопросы. Когда учащийся чувствует себя подготовленным, он нажимает на определенный рычаг. Если ответ правилен, зажжется сигнал «продолжайте», если нет — «повторите».

Обратили внимание? В классе все те же тридцать человек, что и обычно, их учит опять-таки один учитель. Обучение, бесспорно, коллективное. И в то же время индивидуальное. Здесь ученики не «усредняются». Программа одна, но каждый ее может осваивать по-своему, приспосабливая ее к своим качествам. Способный ученик быстро справится с материалом, пойдет дальше. А слабый будет иметь возможность

работать в медленном темпе, не нервничая, не гонясь из «последних сил» за всем классом. Таким образом как бы реализуется главная — практически чрезвычайно трудно осуществимая — заповедь старой, «непрограммированной» педагогики: индивидуальный подход к ученику.

При программированном обучении, которое обязательно должно вобрать в себя все самое лучшее из опыта нашей педагогики, облегчается не только «жизнь» ученика, но и задача учителя-программиста. Преподаватель-программист успешно передаст знания по своему предмету любой группе учеников, с самым различным багажом знаний и умственным развитием. Перенеся акцент в процессе обучения на самостоятельную работу, учитель тем самым «заставляет» каждого ученика не только учиться, но и научаться.

Много сделано у нас и для развития теории нового метода обучения. Создаются специальные обучающие программы, ведутся исследования эффективности различных приемов программирования, разрабатываются вероятностные модели обучения и способы управления учебным процессом, ведутся поиски универсального алгоритма (другими словами, правила) обучения.

Но ученые и педагоги стремятся заглянуть далеко вперед. Они хотят построить такие обучающие комплексы и разработать такие обучающие программы, чтобы в них учитывались и индивидуальные особенности учащихся. Ведутся работы по применению новых методов для специального обучения: в спорте, музыке, медицине.

Для обучения слепых и глухих разрабатывается и экспериментально проверяется способ чтения рукописных текстов во время их написания. Тогда машины сами смогут проверять диктанты в процессе их написания.

Уже разработан проект машины, говорящей и понимающей человеческую речь. Такая машина сможет одновременно обучать несколько сотен, а в перспективе и несколько тысяч учеников. Причем обучать разным предметам и учить каждого по индивидуальной программе. Машина будет читать написанное учеником, слушать его речь, то есть реагировать на все, что делает ученик в процессе обучения, и реагировать без всяких пультов, без рычагов и кнопок!

Занимаются и решением задачи использования больших электронных машин для массового обучения.

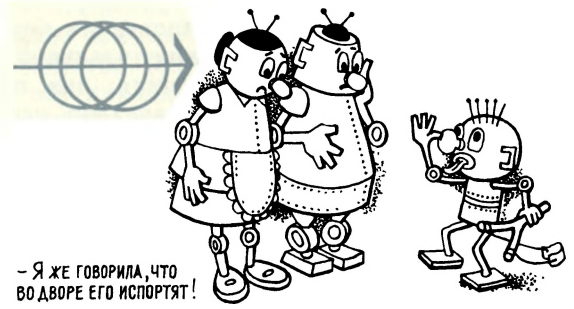
Предполагают, что в будущем даже в квартиры поставят электронные обучающие машины. Их подключат в общегосударственную сеть обучающих машин. Ведь две-три электронные машины могут почти одновременно обслужить сотни и тысячи потребителей учебной информации. Это позволит ввести постоянное контролируемое обучение: от классного задания до домашней подготовки. Плюс к этому возможна и сеть телевизионного обучения.

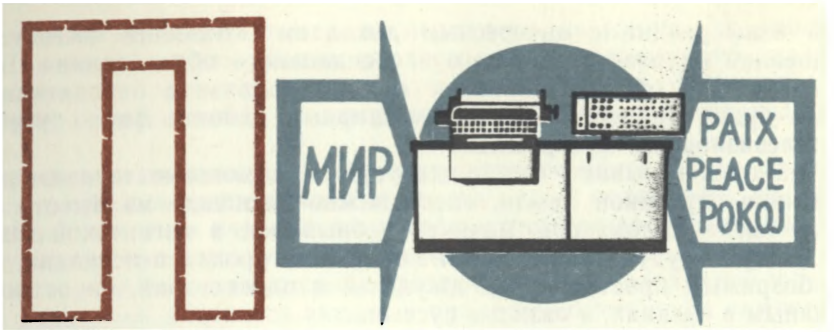
Недавно советский ученый О. Белоцерковский выступал на междуна-

родной конференции с интересным докладом: «Влияние космических исследований на развитие общего и специального образования». В докладе речь шла об использовании спутников связи с передатчиками, которые будут транслировать на обширные районы Земли учебные радиотелевизионные программы.

Ученый предсказывает, что придет время, и мощные телевизионные передатчики спутников Земли, «неподвижно висящих» на высоте 30 с лишним тысяч километров, начнут учебный год в гигантской школе, парты которой будут разбросаны не только в городах и поселках, но и по необозримым пространствам джунглей и плоскогорий, по островам, затерянным в океанах, и оазисам пустынь.

Таким образом можно достигнуть широкого охвата различных слоев населения во всем мире, от самых маленьких до взрослых, и, конечно, повысить эффективность обучения.





ПЕРЕВОД МАШИННЫЙ

Перевод с одного языка (естественного или искусственного) на другой (естественный или искусственный), осуществляемый на электронных вычислительных машинах.

«ЛОШАДЬ (ПО ИМЕНИ) ЧАРЛИ»

7 января 1954 года в Нью-Йорке была проведена первая публичная демонстрация выступления электронной вычислительной машины в новом для нее качестве — в качестве переводчика: она переводила русские фразы на английский язык (было переведено около 60 предложений).

Машина переводила. Она делала это так, как человек, не знающий языка: с помощью словаря. Человек отыскивает однозначные слова и расставляет их в предложении согласно правилам. Что и говорить, подобный перевод далеко не совершенен, однако в машине он вызвал немалые трудности.

Первую трудность можно определить как техническую. Судите сами: специальная программа с правилами перевода состояла из 2500 команд — намного больше, чем программа для решения сложных математических задач.

Техническая трудность имела и еще одну сторону. Машина могла бы прочесть 1 800 000 букв в минуту, но, чтобы снабдить ее перфорированными карточками, понадобилось бы 12 тысяч машинисток, работающих со скоростью 10 тысяч знаков в час. Даже если заменить перфокарточки магнитной лентой, то нужна опять-таки огромная бригада диктовальщиц. Кроме того, для проверки и редактирования текста потребовалась бы буквально армия сверщиков...

Трудности? Да, и еще какие! И все-таки не самые серьезные. Главная трудность — в большом объеме словарей современных языков. Отсюда искажения точности при переводе с одного языка на другой.

Остроумный эксперимент французских лингвистов, попробовавших определить степень точности при переводе с одного языка на другой,

показал результат, очень похожий на игру в испорченный телефон. Четырнадцать опытных переводчиков сели за круглым столом так, чтобы каждый знал язык соседа справа. Первый переводчик — немец — написал на листе бумаги предложение: «Искусство пивоварения так же старо, как и история человечества». И передал листок соседу слева. Сосед перевел с немецкого на родной испанский, написал предложение на другом языке и передал тоже соседу слева. Предложение пошло по кругу, и каждый переводил его на свой родной язык. Наконец оно вернулось к немцу на венгерском языке. Он перевел его и с удивлением прочитал: «С давних времен пиво является любимейшим напитком человечества».

Большое препятствие для машин — идиоматические выражения. Английское слово «charley horse» машина переведет как «лошадь (по имени) Чарли», тогда как оно обозначает «судорога в икре ноги». «Foolproof» — «защищенный от нежелательного воздействия» — дословно переводится как «защищенный от дурака».

Французская фраза «Absorption comfortable des vibrations» — «комфортабельное поглощение колебаний», а в действительности в технике фраза означает «гашение колебаний, обеспечивающее комфортабельность езды». «Dos d'ânes» — «возвышенные дорожные неровности» — буквально переводится как «ослиные спины». «Coups des raguettes» — «колебания в вертикальной плоскости» — дословно: «взлеты ракет».

Если машина спотыкается на фразах, то что же она сделает с таким текстом, как окончание повести Н. Гоголя «Нос»? «...А, однако же, при всем том, хотя, конечно, можно допустить и то, и другое, и третье, может даже... ну да и где не бывает несообразностей? А все, однако же, как поразмыслишь, во всем этом, право, есть что-то. Кто что ни говори, а подобные происшествия бывают на свете; редко, но бывают».

Машинам пока еще не до переводов сложного текста. Сколько ошибок делает она, работая с самыми простыми переводами!.. Так, один из первых переводов с английского языка на русский содержал фразу: «Это верно безусловно для обширной категории задач, с в я з а т ы х с силой и движением, так что х о ч е м ли мы знать будущий путь Юпитера в небесах или путь электрона...»

Однажды машина перепутала слова «один» и «два». И вместо «двух» выдала в первый раз «однух», во второй — «однум».

Электронная машина допустила ошибку, которой устыдился бы даже посредственный школьник. Делая грамматический разбор предложения «Дочь генерала читала книгу», машина причислила слово «генерала» к глаголам, указав даже его время. Казус произошел оттого, что в конечном звукосочетании существительного машина «увидела» распространенное глагольное окончание.

Любопытный случай произошел с машиной, когда она переводила статью из английской газеты «Таймс», в которой шла речь о переводах с помощью вычислительной машины. Машине встретились слова «же-

лезный занавес». Она «задумалась» и, опустив этот непонятный термин, продолжала переводить дальше.

Другой случай. Американская машина при переводе названия статьи академика С. Н. Вернова «Знать тайны космоса» исказила смысл до неузнаваемости: «Откроем тайный космос».

И все же машина переводит. Посмотрим, как она это делает.

ПРОСЛЕДИМ ВСЕ ЭТАПЫ ПЕРЕВОДА В МАШИНЕ

Сначала в вводное устройство машины вставляют бобину с лентой, на которой записан английский текст. Но он записан не знаками, а отверстиями, как на перфокартах. Это код переводимого текста. Рядом ставится бобина с узкой магнитной лентой — программой работы машины по переводу. «Память» машины хранит в своих ячейках расположенные в строгом порядке русские слова рядом с соответствующими им английскими.

Машина-переводчик, как и человек, пользуется словарем. Только в ее словаре слова «записаны» не буквами, а числами. Английское «а» стало 16, «b» — 06, «w» — 13, «m» — 11, «n» — 15, «x» — 09 и т. д. И русские буквы стали числами: «а» — 16, «б» — 06, «в» — 13, «м» — 11, «н» — 15 и т. д.

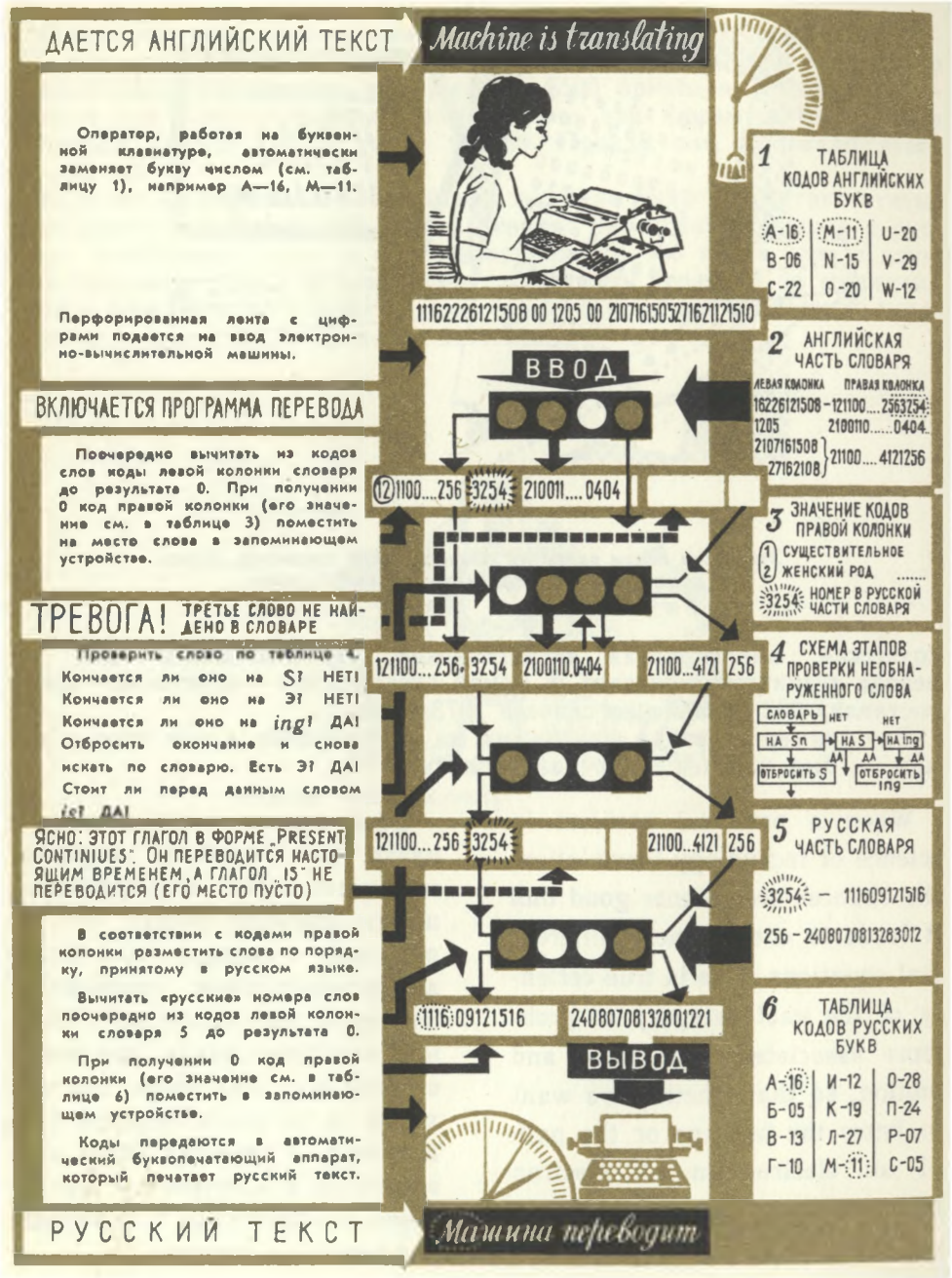
Перевод начинается с того, что машина отыскивает по словарю введенные в нее слова, записанные на ленте. Вот машина нашла слово. Но не ошиблась ли она? Как проверить? Арифметическое устройство из каждого числа-слова в словаре вычтет число-слово, заданное перфолентой. Если остаток равен нулю, слово найдено. Операция такого сравнения занимает около десятитысячной доли секунды. Словарь в тысячу слов машина просмотрит в доли секунды.

Затем машина обращает внимание на номер найденного в словаре английского числа-слова. Соответствующее по значению английскому русское слово находится в словаре под тем же номером. И слово это также записано числами. Если теперь перевести эти числа в соответствующие русские буквы, мы получим русское слово — перевод английского слова, введенного в машину.

Слова переведены. Но русскую фразу машина пока не может построить. Сначала ей надо проанализировать грамматическую характеристику английских и русских слов: род, число, падеж, склонение и т. д. Эти характеристики в машине имеют тоже вид чисел и хранятся в «памяти». Части слова — суффикс, окончание, предлог — и артикли английских слов переведены на доступный машине язык так называемой цифровой информации.

Только теперь машина начинает анализировать всю английскую фразу в целом, а затем строить русскую. Это делается на основе программы перевода, в которой есть разделы: «глаголы», «существительные», «прилагательные», «числительные», «синтаксис», «изменение порядка слов». Русское предложение, составленное из переведенных с английского слов, машина строит по правилам нашей грамматики.

Машина-переводчик заявила о себе, как вы уже знаете, в 1954 году. К 1958 году во всем мире было только три электронных машины:



Технология машинного перевода.



Эти куски ленты взяты из машины после перевода. Здесь дословный перевод: «Это не необходимо».

советская, американская и английская, приспособленные для перевода технических текстов. У самой совершенной — советской — запас составлял 952 английских слова и 1973 русских.

Вот пример перевода, сделанного на этой машине, в том виде, в каком он был получен без редактирования:

When a practival problem in science or technology formulation, the chances are rathner goud *that* it leads to one on more differencial equations. This is true certenly of the vast category of problems associated with force and motion, so that whether we want to know the heavens or the path of an electron in an electron microscope we resopt to differencial equations...

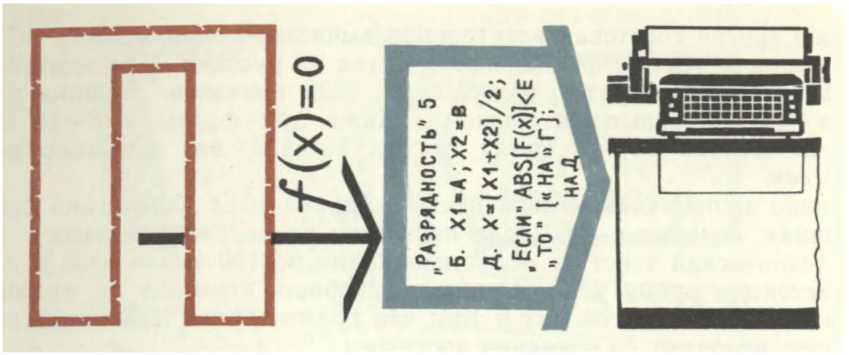
Если практическая задача в науке или технике допускает математическую формулировку, шансы довольно велики, что это приводит к одному или более дифференциальным уравнениям. Это верно безусловно для обширной категории задач, связанных с силой или движением, так что, хотим ли мы знать будущий путь Юпитера в небесах или путь электрона в электронном микроскопе, мы прибегаем к дифференциальным уравнениям...

Позже другая советская электронная вычислительная машина «Стрела» сделала перевод с французского языка на русский. Для этого было разработано 17 программ, содержащих 8500 приказов. Машина переводила текст отдельными фразами. Даже для фразы в 8—10 слов «Стрела» делала 45—50 тысяч тактов. Правда, это занимало всего 20—25 *сек.*

Недавно в специальном английском журнале была напечатана статья о машинах, которые с 1963 года переводят на английский язык с русского технический текст из области авиации по 100 тысяч слов в день. А в настоящее время удалось довести скорость перевода до миллиона слов в день. Все это говорит о том, что практический машинный перевод будет, вероятно, со временем достижим.



— Он передает марсианский привет!



ПРОГРАММИРОВАНИЕ

Составление программы решения математических и информационно-логических задач на цифровой вычислительной машине; раздел прикладной математики, разрабатывающий метод составления программы.

ПУТЕВОДИТЕЛЬ ПО «МАШИННОМУ ГОРОДУ»

Предположим такую ситуацию.

В вычислительный центр приходит инженер-строитель, которому надо рассчитать, правильно ли составлен проект железнодорожного моста. Его задача имеет самый настоящий математический вид: формулы, уравнения, расчеты. Есть все — бери и закладывай в машину.

Но, увы, задача для машины — нечто непостижимое, «электронный мозг» ничего не может поделать ни с формулами, ни с уравнениями, ни с расчетами. Машина не понимает, чего от нее хочет человек.

Как же донести задачу до машинного «сознания», как растолковать машине ее смысл?

Как — это знает программист.

Программист — связующее звено между машиной и задачей, которую машине предстоит решить.

У программиста очень ответственная роль — он должен «машинно» представить себе задачу. Он обязан разбить любую из сложных задач на последовательность простых команд, таких, что с ними могла бы справиться машина.

В каждой задаче, даже самой простой, команд насчитывается не одна и не две, а много. И, естественно, чем сложнее задача, тем длиннее перечень команд.

Этот перечень, эта совокупность команд и есть программа для работы машины.

Как вы понимаете, составление программ — дело очень трудное: необходима высокая квалификация. Ведь все пути передачи информации,

нужные для выполнения той или иной последовательности, программист должен представить себе, а представив, «проложить» в машине.

Программа составлена. Пути решения задачи в машине проложены. Теперь включается в работу машина.

Раз мы говорим о путях решения задачи, значит, между любыми двумя элементами машины протягивается какая-либо связь, канал. А в канале связи должен быть своеобразный «стрелочник», который то пропускает информацию через определенный канал, то «переводит стрелку» — закрывает путь.

Элементы, выполняющие в вычислительной машине роль электронного стрелочника, называют вентилями или клапанами. Программа как раз и составлена для того, чтобы определенные команды читались как приказ открывать соответствующую группу вентилей (клапанов), а остальные держать закрытыми.

Вы, конечно, обратили внимание в главе «Быстродействующая электронная цифровая вычислительная машина» на ту связь, которая существует между программой машины и ее управляющим устройством. Устройством, в котором как бы сконцентрированы все внутренние связи, в котором «перерабатываются» все команды управления таким сложным автоматом, как быстродействующая вычислительная машина. Наверное, вспомнили и сравнение управляющего устройства с дирижером, а программы — с партитурой? Не забыли и все пути чисел и команд в вычислительном агрегате. Теперь посмотрим, как же наш «дирижер» читает «партитуру».

ИТАК, УПРАВЛЯЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО РАБОТАЕТ В ТЕСНОЙ СВЯЗИ С ПРОГРАММОЙ.

Оператор включает машину, вкладывает в нее программу со списком команд, которые поочередно надо выполнять, чтобы решить задачу.

Программа в цифровой машине выполняется последовательно, как мы уже говорили, тактами, шаг за шагом, операция за операцией. Не мудрено, что это сравнивают с вязанием на спицах: каждая часть будущего изделия складывается из одиночных петель в различных сочетаниях. Аналогия здесь очень точная, потому что и в существующих справочниках по вязанию на спицах содержатся детальные указания и расчеты. И так же как программа для электронной машины, эти руководства по вязанию понятны только для посвященных.

...В управляющее устройство поступила очередная команда. Оно тут же «открывает» нужную группу клапанов, заставляет машину выполнить эту команду. Допустим, поступила команда: сложить число в регистре *B* с числом в регистре *A*, сумму направить в регистр *C*.

Машине надо открыть группу клапанов, передающих числа через сумматор, и по каналам связи «пробежит» такая серия команд: «Передать из регистра *B* в сумматор», «Передать из регистра *A* в сумматор», «Передать из сумматора в регистр *C*».



Пример реализации программы в машине.

Для вычитания понадобятся другие клапаны и т. д.

Обратили внимание? Каждая команда содержит в себе две составные части: она указывает, «что делать» и «где делать». Специалисты так их и называют: операцией и адресной частью или попросту адресом.

Надо признаться, в машине команды выглядят совсем не так, как на этом рисунке. Они обретают привычный для машины вид — кодируются цифрами и знаками.

Попробуем составить для машины программу вычисления общего наибольшего делителя двух чисел, a и b, по известному нам алгоритму Евклида.

Для этого надо иметь перечень операций. Предположим, что они у нас записаны. Сведем их в таблицу и каждую операцию закодируем наборами двоичных символов. Кроме того, дадим краткие буквенные обозначения каждой операции. Это нужно для облегчения работы над составлением программы.

Вот небольшая таблица операций, которая поможет нам составить программу:

Операции	Краткое обозначение	Двоичный код
Сложить число в ячейке № с числом в сумматоре	Сл	0001
Вычесть числа в ячейке № из числа в сумматоре	Вч	0010
Переслать число из ячейки № в сумматор, поставив предварительно сумматор на 0	Пс	0011
Переслать число из сумматора в ячейку №	Пч	0100
Перейти к команде в ячейке №	Пк	0101
Если содержимое сумматора не равно 0, перейти к команде в ячейке №	Ус	0110
Если число в сумматоре отрицательное, перейти к команде в ячейке №	Ул	0111
Стоп — остановить машину	Ст	1000

Чтобы можно было пользоваться таблицей, надо иметь в виду несколько важных условий.

Первое — если число из регистра-ячейки передается в сумматор, оно сохраняется и в регистре.

Второе — если же число из сумматора передается в ячейку, то число, стоявшее там раньше, «стирается» и на его место становится посланное туда. В сумматоре же посланное число остается без изменений.

И еще надо обязательно помнить, что при неравенстве чисел a и b нам придется устанавливать, какое из них больше, а какое меньше.

Человек это может сделать просто, взглянув на числа. Машина же всегда должна сравнивать по разрядам. Поэтому для выяснения большего из двух чисел машине проще всего произвести вычитание. По знаку разности ей будет ясно, какое из чисел больше, какое меньше.

Приступим к составлению программы.

В ячейках оперативной «памяти» с № 1 по № 13 поместим команды. В ячейку № 20 — число a, в ячейку № 21 — число b. Адреса ячеек-регистров запишем в десятичной системе.

Номера ячеек	Содержимое ячейки в буквенном обозначении	В двоичном коде
01	Пс — 20	00110000010100
02	Вч — 21	00100000010101
03	Ус — 05	01100000000101
04	Ст	10000000000000
05	Пс — 20	00110000010100
06	Вч — 21	00100000000101
07	Ул — 10	01110000001010
Ячейки 08	Пч — 21	01000000010100
с командами 09	Пк — 01	01010000000001
10	Пс — 21	00110000010101
11	Вч — 20	00100000010100
12	Пч — 21	01000000010101
13	Пк — 01	01010000000001
14	. . . . .	
15	. . . . .	
16	. . . . .	
17	. . . . .	
18	. . . . .	
19	. . . . .	
Ячейки 20	число a	
с числами 21	число b	

Проследим по таблице за работой машины. Она пущена в ход, и в управляющее устройство поступила команда из регистра-ячейки 01. В следующем такте команда будет выполнена. Число из ячейки 20— первое число a — поступит в сумматор, предварительно поставленный на нуль, оно там и останется.

Затем в управляющее устройство поступит команда из ячейки 02. И число b из ячейки 21 вычтется из числа a. Тем самым, как мы увидим дальше, реализуется второе указание алгоритма Евклида: о сравнении обоих чисел. Теперь в действие вступает условная команда, поступившая из ячейки 03 в порядке очереди. Управляющее устройство проверит результат предыдущей операции. Если разность равна нулю, то числа равны и каждое из них дает общий наибольший делитель. Машина напечатает число, и задача решена.

Если же разность не равна нулю, то есть числа не равны, то, согласно условной команде, управляющее устройство обратится к следующей команде в ячейке 05. Затем к ячейке 06. По командам, стоящим в этих ячейках, число a из ячейки 20 поступит снова в сумматор, поставленный предварительно на нуль, и из него вычтется число b из ячейки 21.

В сумматоре образуется разность. Тогда в действие вступает условная команда из ячейки 07. Если разность отрицательна — второе число меньше первого, — то их, согласно алгоритму, нужно поменять местами.

Команда условного перехода передает управление ячейке 10. По ее команде в сумматор будет передано число из ячейки 21, второе число b. Затем из него будет вычтено число, стоящее в ячейке 20, число a. Их разность положительна. Эта разность по команде ячейки 12 будет помещена в ячейку 21. И, наконец, команда ячейки 13 передает управление машиной вновь ячейке 01.

Цикл начнет повторяться, пятое указание алгоритма будет выполнено. В ячейку 20 поступит число a, в данном случае вычитаемое (как меньшее из двух чисел). Из него вычтется остаток, расположенный теперь в ячейке 21, и т. д.

Если же образованная в результате выполнения команд 05 и 06 разность будет положительной, то после команды 07 последует команда из ячейки 08. Положительный остаток будет передан в ячейку 20, а управление машиной по команде из ячейки 09 вернется к ячейке 01. И, как в предыдущем случае, начнется новый цикл. В нем, согласно алгоритму Евклида, вычитаемое и остаток.

И так цикл за циклом будет идти весь процесс поиска общего наибольшего делителя, пока не будет достигнуто равенство в ячейках 20 и 21.

Значит, вся программа составлена из 13 команд. По ней можно отыскивать общий наибольший делитель для любой пары чисел. Количество команд останется всегда одинаковым. Но общее число циклов повторения будет различным — оно зависит от значения чисел a и b.

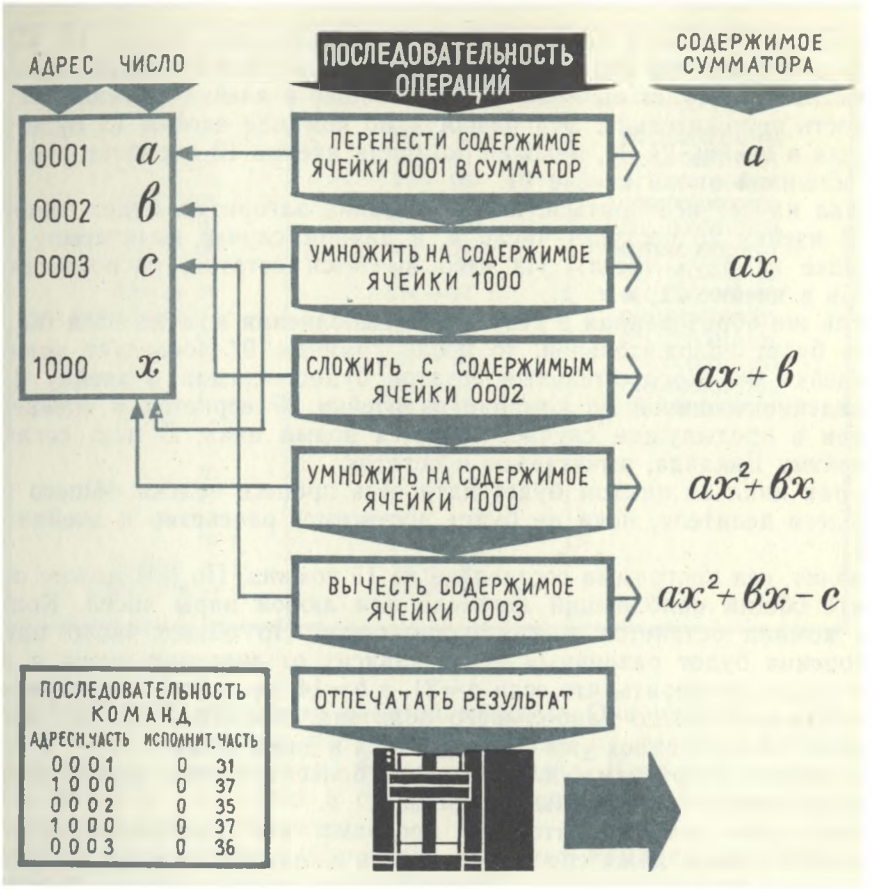
Нетрудно проверить, что если $a=21$, а $b=14$, то третий цикл приведет к отысканию общего наибольшего делителя, равного 7. А при многозначных числах циклов уже будут десятки и даже сотни.

Составление программ для решения более сложных задач требует большого опыта и значительных усилий.

Необходимо заметить, что без программ все электронно-вычислительные машины, даже способные делать миллионы операций в секунду, — это, в лучшем случае, по словам крупного специалиста по применению ЭВМ академика Г. Марчука, всего лишь «предмет обстановки» институтских и заводских помещений. Ведь программа организует весь конвейер вычислений, или, как говорят, переработки информации от ввода в машину до вывода. Именно программа обеспечивает выполнение всех операций, заданных машине.

Программисты готовят целые серии стандартных программ для решения типовых задач. Чем большим набором таких программ снабжается ЭВМ, тем лучше она приспособлена для работы, тем «доходчивее» она для потребителя, тем удобнее ею пользоваться, тем выше ее ценность.

Теперь стремятся выпускать машины с полным набором стандартных программ, не жалея для этого сил и средств. Например, в американской компании по производству вычислительных машин «ИБМ» около полутора тысяч человек постоянно заняты составлением программ для



Пример программирования. Последовательность команд показана слева внизу. 31 означает перенос числа в сумматор, 37 — умножение чисел, 35 — сложение, и т. д.

выпускаемых машин. Библиотека программ, составленная только для одной машины марки «1900», включает в себя свыше 3,5 миллиона команд.

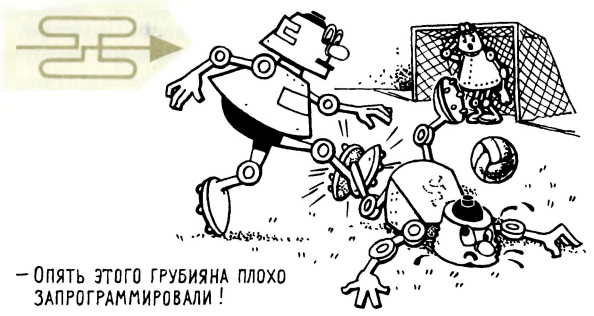
Составление программ превратилось теперь в своего рода индустрию математического обеспечения вычислительных машин. Эта индустрия обходится дороже, чем сами машины, — обеспечение программами машины «ИБМ-360» стоило около одного миллиарда долларов.

Что же это такое — математическое обеспечение? Это комплекс — буквально множество — программ, собранных в специальные библиотеки. Они делают машину работоспособной, пригодной для практиче-

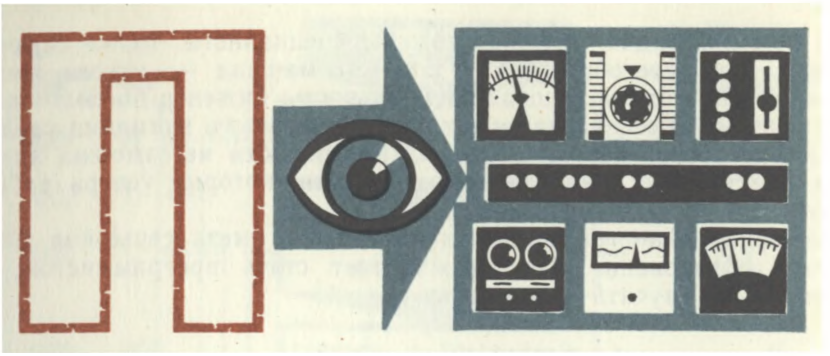
ского решения задач. Это, как говорят специалисты, то же самое, что для людей высшее образование. Без него машина — «кусок железа».

В наши дни родилась новая специальность: инженер по системам математического обеспечения — вот почему так много внимания уделяется подготовке программистов. Без них практически невозможна эксплуатация электронных вычислительных машин, которые теперь работают всюду..

Квалифицированный программист должен иметь серьезное математическое образование. Тем, кто думает стать программистом, надо основательно изучать математику.



— Опять этого грубияна плохо запрограммировали!



ПСИХОЛОГИЯ ИНЖЕНЕРНАЯ

Наука, изучающая психологические особенности трудовой деятельности человека с целью определения его высших психических функций (память, мышление, внимание, восприятие и т. п.).

ЧЕЛОВЕК У МАШИНЫ

Впервые на это обратили внимание во время второй мировой войны. Тогда в боях участвовало много самой разнообразной техники. Воевали очень подвижные и очень чувствительные машины: самолеты, танки, подводные лодки.

Конструкторы, создавая ту или иную машину, часто сталкивались с необъяснимым, казалось, явлением: военная техника на деле не давала ожидаемого эффекта.

В чем тут дело? Специальные исследования, эксперименты, испытания показали: новая техника не соответствовала функциональным возможностям людей, призванных ею управлять.

Собственно, с этого и началась новая наука — инженерная психология.

Люди так привыкли к «машинному» миру, в котором живут, что не замечают «машинности» окружающей среды: всей армии автоматов, приборов, агрегатов, аппаратов, механизмов.

Так привыкли, что не замечают, как изменился характер труда за последнее время.

А ведь развитие техники очень изменило труд. Буквально несколько десятилетий назад человек на производстве все делал сам. Теперь же он управляет процессом труда, применяя для этого различные «органы» подвластных ему машин. Освободившись от физического труда, человек все чаще и чаще становится командиром, приказывающим механизмам-исполнителям.

Но это одна сторона «взаимоотношений» человека и машины. Оказалось, что и машина «небезразлична» к человеку, и она предъявляет ему

требования. Современные машины, особенно автоматы, заставляют быть внимательным, памятливым, сообразительным, быстрым в реакциях.

«Требования» машин настолько серьезны, что нужен строго научный подход к их «удовлетворению». Вот тут и приходит на помощь инженерная психология.

Как дисциплина техническая, инженерная психология изучает машины, устройства, приборы, механизмы. Но изучает «направленно», под строго определенным углом зрения: какие требования механические помощники предъявляют своему творцу.

Как дисциплина психологическая, новая наука призвана изучать человеческое мышление, его особенности, способности человека. Но опять-таки под строго определенным углом зрения: соответствуют ли индивидуальные характеристики данного человека его профессии.

За свою не слишком длинную историю инженерная психология прошла нелегкий путь, на котором ее ожидали и поражения, и победы. Сначала она преодолела (это деление чисто условное) наиболее легкий, вернее, более заметный «технический» этап. Ученые стали разрабатывать инженерные задачи, связанные с оформлением приборов, конструированием рабочих мест, окраской служебных помещений.

И оказалось, что такие «мелочи», как расположение выключателей, тумблеров, форма ручек и рукояток, их цвет, изменение окраски стен, расстановка мебели в служебном помещении и станков в цехе, резко повысили производительность труда.

Успех?

Да, и немалый

Второй этап — опять-таки условный — по характеру исследований ближе стоит к экспериментальной психологии. Теперь ученые решают задачи другого плана: определяют высшие психические функции человека. Специалисты по инженерной психологии в своих работах уделяют большое внимание таким краеугольным проблемам, как память, внимание, мышление, восприятие.

С какой целью? А с той, чтобы создать технику, приспособленную для контакта, сотрудничества, «содружества» с человеком, соизмеримую с ним — с его способностями и возможностями.

Человек и техника в процессе труда соединены тысячью нитей, это два звена одной цепи. Поэтому нужны знания и о звене «техника», и о звене «человек».

Знания о звене «человек» — точные, проверенные — получают инженеры-психологи в результате длительных и строгих экспериментов.

Возьмем, к примеру, зрительное восприятие. Изучая его закономерности и особенности, инженеры-психологи сразу берут их себе на вооружение, придают им практическую направленность. Именно так была решена проблема, как лучше кодировать информацию, идущую на экраны и табло.

При изучении зрительного восприятия было подтверждено и обще-

принятое предположение, будто человек видит больше, чем он может воспроизвести.

«Что же здесь необычного или неожиданного? — удивитесь вы. — Стоило ли доказывать то, что ясно без доказательств?»

Стоило. И по двум причинам. Во-первых, потому, что из предположения, теперь научно проверенного и обоснованного, родился факт. Во-вторых, с положением «видим больше, чем воспроизводим», в практической жизни мы встречаемся на каждом шагу.

Именно с ним мы имеем дело, когда воспринимаем номер телефона в справочнике, а затем набираем его. Именно с этим положением имеют дело инженеры, выбирая сложные зрительные индикаторы, соответствующие возможностям человека.

А это очень важная составная часть в управлении сложнейшими агрегатами или производственными процессами, где, как вы уже знаете, человек выступает в качестве управляющего — оператора единой системы «человек и машина».

ПЕРЕД ВАМИ СИСТЕМА «ЧЕЛОВЕК И МАШИНА».

Посмотрите, как четко разграничены в системе функции каждого ее «узла». Человеку в ней отведена роль своеобразной «подсистемы». Деятельность его определена точно: он принимает от машины осведомительную информацию, перерабатывает ее в информацию командную и передает машине.

У машины тоже свои, не менее точно ограниченные функции. Машины выполняют технологические операции, получив на это указание от человека.

Правда, распределение функций между человеком и машиной может варьироваться, быть самым различным.

От чего оно зависит? От назначения системы.

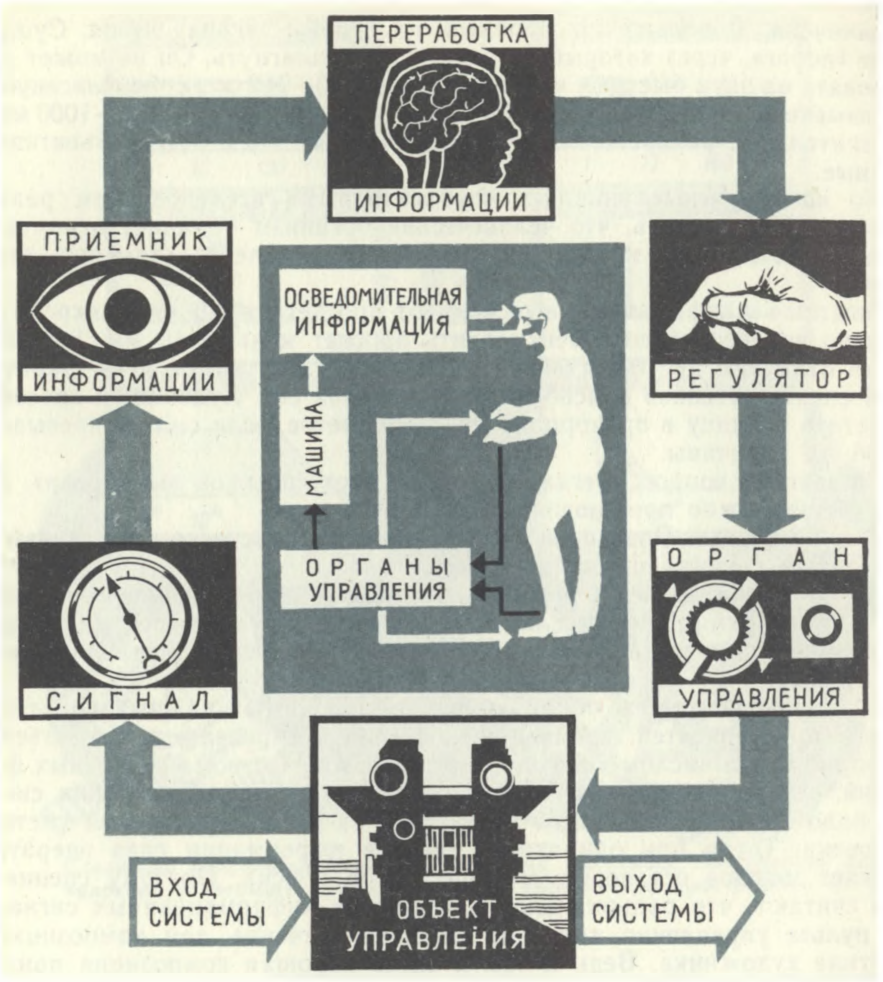
Вот система механизированного производства. Здесь человеку приходится выполнять все функции регулирования и управления.

А теперь перейдем к более высокому типу — производству автоматизированному. Здесь бо́льшая часть этих функций доверена машинам. Человек лишь планирует операции в целом. Он принимает важные решения, контролирует общий ход работы всей системы, вмешиваясь в управление, если случаются отклонения от программы.

Как же добиться того, чтобы в системе «человек и машина» сочетание «машинного» и «человеческого» давало самый лучший, оптимальный результат? Как добиться такого положения, чтобы в системе «человек — машина» машина работала с наибольшей «отдачей», а человек — с наименьшей усталостью? Подойти к решению можно с двух противоположных сторон.

Во-первых, добиться лучшего приспособления техники к человеку. Во-вторых, как это делает инженерная психология, приспособить самым «выгодным» образом человека к технике.

Под обстрел инженерной психологии попали те звенья системы, в которых человек оказывается непосредственно связанным с машиной, где происходит передача информации. Значит, таким звеном в первую очередь служит сам человек? Несомнен-



Поток информации в системе «человек — машина».

но. Он воспринимает органами чувств информацию. Он преобразует информацию и передает ее на панель. Он, управляя машиной, переводит команды в удобный и понятный для машины код операций.

Инженерная психология стала весьма пристально изучать «емкость» человека как «канала информации», «канала связи».

И оказалось, что «емкость» человека при таком рассмотрении очень

ограничена. Довольно прискорбный, на первый взгляд, вывод. Существует «порог», через который человеку не перешагнуть. Он не может реагировать на звук быстрее, чем в пределах 120—182 *мсек* (миллисекунд); на изменение температуры — 150—240 *мсек;* на боль — 400—1000 *мсек;* на зрительные раздражения — 150—225 *мсек.* Это строгие объективные данные.

Но когда ученые занялись «субъективным» исследованием разных профессий, оказалось, что человеческий организм обладает огромными резервами, он, если можно так выразиться, старается «прыгнуть выше себя».

Опытные шлифовальщики различают просветы в 0,6 *мк* (микрона), а обычно человек не способен уловить просвет меньше 10 *мк.* Текстильщики отличают до 100 оттенков черного цвета. Сталевары — широчайший спектр оттенков красного, до нескольких сот. Художники способны заметить разницу в пропорциях двух предметов, если она не превышает 0,006 их величины.

Но законен вопрос: всегда ли удается этот «прыжок выше себя», всегда ли возможно превышение «порога»?

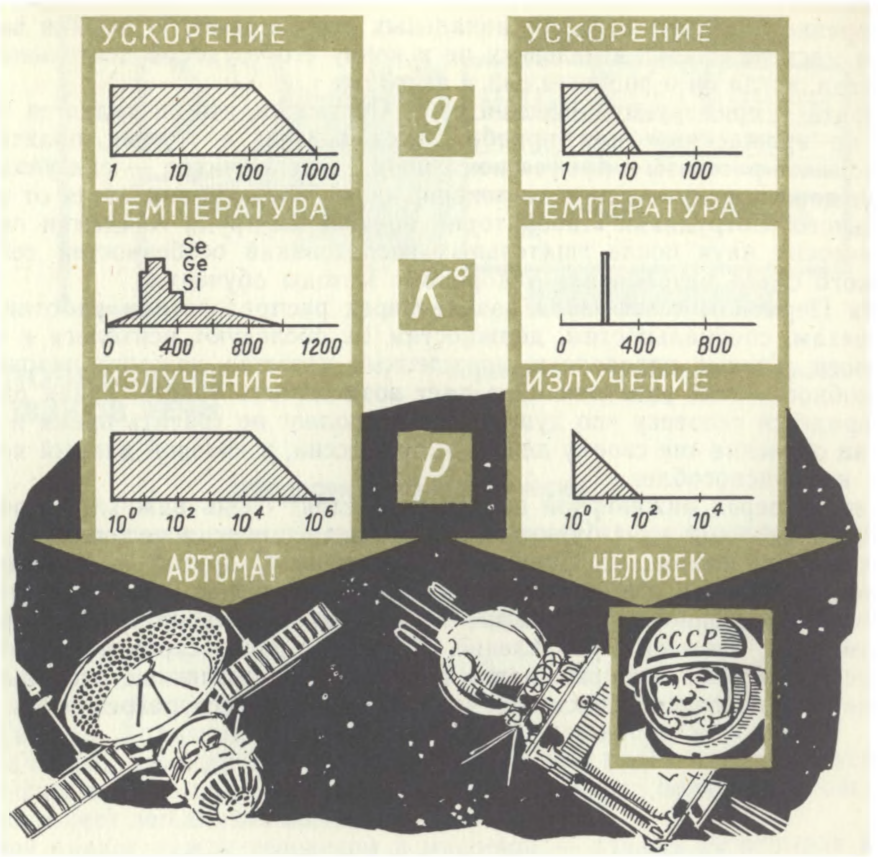
Нет, не всегда. Повышение требований к человеческому организму в некоторых случаях истощает его резервы.

Возьмем для примера авиацию. По данным американской статистики, 80% аварий происходит по вине летчиков и диспетчеров в результате их ошибок из-за расхождения в требованиях звена «техника» к звену «человек».

Советские психологи обнаружили одну из самых важных и интересных закономерностей: время поиска решения определяется не объемом информации, а числом «шагов поиска» — количеством зрительных фиксаций, остановками глаза. Значит, при конструировании машин сигналы надо группировать в соответствии с законами зрительной системы человека. Тогда при одинаковом объеме информации глаз оператора сделает меньше остановок, меньше шагов поиска. Поэтому специалисты считают, что рациональная компоновка информационных сигналов на пульте управления имеет не меньшее значение, чем композиция в картине художника. Ведь и там и здесь хорошая композиция помогает лучшему восприятию.

У инженерной психологии есть и еще одно очень важное поле деятельности: определить и развить профессиональные способности человека, «подтянуть» их до растущих требований техники.

При исследованиях с этой целью человеку предлагают несколько задач, у которых сложность возрастает. Затем с помощью специальных приборов ученые определяют то, что они называют «коэффициентом прогресса», «способностью развивать свои способности». Этот метод помогает установить, может ли человек работать по любой из специальностей, требующей точной реакции, сообразительности, хладнокровия, ориентации в непредвиденной обстановке.



Сравнение допустимых пределов ускорения, излучения, температуры для человека и автомата при их выходе в космическое пространство не в пользу человека.

Есть люди разного типа. Одни — «горячие головы» — полностью раскрывают свои способности, когда от них требуется неожиданность решений, быстрота действий, когда их «подхлестывает» опасность. У других в такой обстановке буквально опускаются руки: они не могут работать, если знают, что «времени в обрез», если мешают резкие шумы, что-то отвлекает внимание. В такой обстановке они быстро переутомляются, устают, забывают привычные операции. Но если им поручить наблюдение или работу, связанную с длительным отсутствием информации (ту, с которой не справятся «горячие головы»), они становятся незаменимыми.

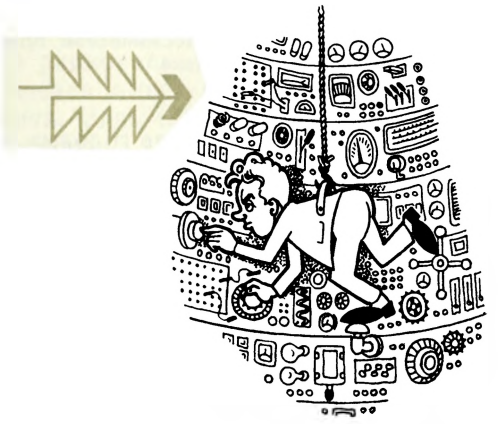
Новое, интересное и важное направление позволит найти методы

ускоренного развития профессиональных способностей. И навыки высокого мастера придут к человеку не к концу его трудовой деятельности, а тогда, когда он в расцвете сил и здоровья.

Взять, к примеру, технический слух. Считалось, что он является чуть ли не врожденным или приобретается годами и годами практики. Вспомните рассказы о профессиональном слухе летчиков — они улавливают даже трехпроцентное отклонение числа оборотов двигателя от нормального. Сотрудники Лаборатории психологии труда Академии педагогических наук после тщательных исследований особенностей технического слуха разработали ускоренные методы обучения.

На Пермском телефонном заводе перед распределением работников по цехам, специальностям, должностям их обследуют психологи и физиологи. Ученые определяют врожденные качества каждого человека, способность к их развитию. Это дает возможность узнать, какая работа придется человеку «по душе». Это позволяет не тратить время и силы на обучение «не своему делу» — профессии, к которой данный человек не приспособлен.

Теперь перед инженерной психологией стоят очень важные вопросы. С одной стороны, идет бурный процесс раскрепощения человека — облегчение его командных функций при машине. С другой — благодаря развитию бионики разрабатывают новые, более тесные связи между человеком и машиной. На повестке дня — управление машиной посредством речи, биоточное управление. Получают распространение биотехнические системы, которые могут воспринимать различные сигналы от организма человека. И все эти вопросы ждут своего разрешения.





РАСПОЗНАВАНИЕ ЗВУКОВ РЕЧИ

Выделение признаков, однозначно определяющих звук речи.

ПОГОВОРИМ ПО-ЧЕЛОВЕЧЕСКИ

Человек. Были ли вы рады дождю, который прошел сегодня после полудня?

Машина. Нет, я люблю больше солнечную погоду.

Человек. В жаркую погоду для человека нужна по крайней мере одна ванна в день.

Машина. Да, я как раз был на улице и изнемогал от жары.

Человек. Когда придет рождество, будет холодная погода.

Машина. Холодная погода? Да, обычно в декабре морозно.

Человек. Сегодня ясная погода. Долго она будет продолжаться?

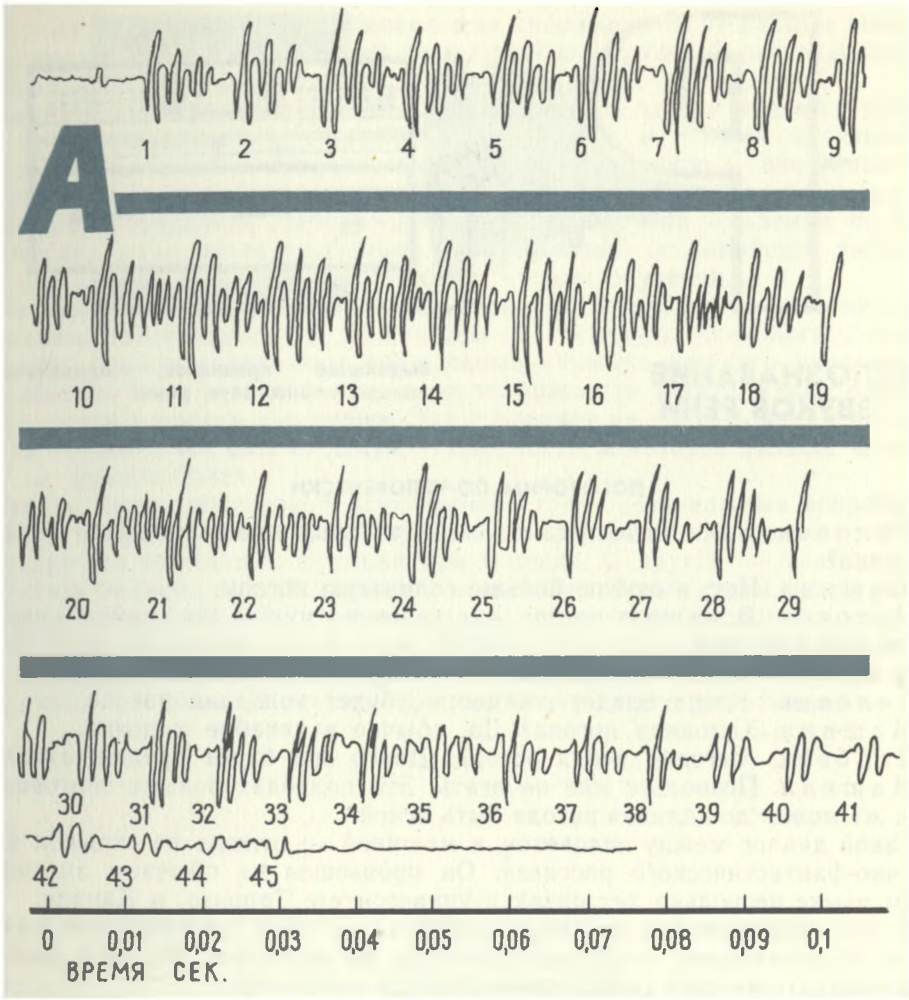
Машина. Позвольте мне не лгать. Это подходит больше торговцу. Как же может дождливая погода быть ясной?

Такой диалог между человеком и машиной — отнюдь не отрывок из научно-фантастического рассказа. Он произошел на обычном английском языке несколько лет назад в университете Торонто, в Канаде.

А вот американская машина, названная за свои миниатюрные размеры «Кирпичиком», пока разговаривать не научилась. Но она умеет распознавать на слух слова, относящиеся к арифметике.

«Кирпичик» довольно привередлив. Он не терпит небрежности в произношении, требует точной и ясной дикции. Может быть, поэтому он с трудом понимает слова, с которыми обращаются к нему женщины.

Справедливости ради, чтобы не быть слишком придирчивым к «Кирпичику», стоит заметить: капризным «нравом» обладает и другая представительница нарождающегося племени говорящих машин. Она «живет» в Институте языкознания Грузинской Академии наук. Ее учили произносить слова и фразы на грузинском языке. С этим она успешно справлялась. Тогда ее попробовали «настроить» на русскую речь... Она заговорила с характерным южным акцентом.



Звуковая волна, возникающая при произнесении звука «А».

Для того чтобы машина «научилась» разговаривать с человеком, отвечать на поставленные ей вопросы, ученые затрачивают очень много сил и времени, «начиняя» машинную «память» гигантской информацией. Чего только не пришлось узнать машине, работающей по программе, почтительно названной «Сэр», прежде чем она смогла ответить на предельно простой — по нашим понятиям — вопрос: сколько пальцев у Джона?

Не правда ли, это очень интересно — машина, слушающая и понимающая человеческие слова. И, конечно, каждому хотелось бы знать, как же она распознает звуки.

Здесь есть два ответа: распознавать звуки и легко, и трудно. Сначала познакомимся с тем, что легко, — с акустической, физической стороной дела.

Звуки — это колебания воздуха, волны разной частоты. Каждому из звуков речи соответствует своя частота. Поэтому в создании определенного звука не обязательно участие голосовых связок, звук можно искусственно синтезировать.

С этой целью машину заставляют прослушивать слова, произнесенные и одним человеком много раз, и разными людьми. Естественно, каждый одно и то же слово произносит по-своему: разный тембр (звуковая окраска) голоса, разные интонации, разная чистота произношения. Задача машины, прослушав, «усреднить» особенности произношения, «сравнять на нет» индивидуальность, чтобы потом, услышав знакомое слово, не ошибиться.

Что же происходит при этом внутри машины? То же, что при разговоре по телефону или радио: звуковые колебания преобразуются в электрические. В специальных «решетах»-фильтрах они «просеиваются» по частоте. Затем в машинной «памяти» сравниваются с хранящимися там эталонами по строго определенному «узору» сигналов. Этот «узор» — картина звука — и есть тот усредненный звук, который «научилась» узнавать машина.

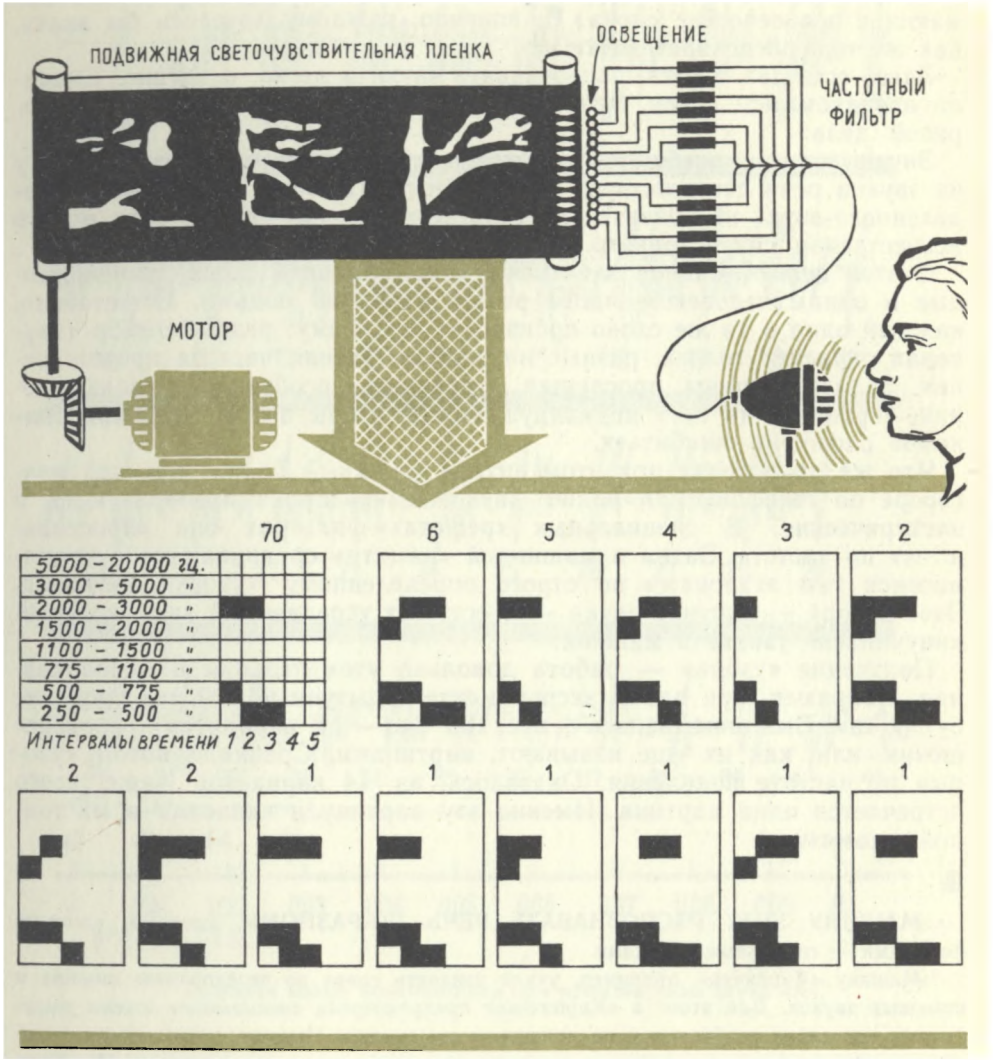
Получение «узора» — работа довольно утомительная и однообразная. Например, при одном эксперименте испытуемый 100 раз произнес букву «а». Она описывалась — все 100 раз — 14 вариантами произношения, или, как их еще называют, картинами. Сравнили потом «узоры» по частоте появления. Оказалось, из 14 вариантов чаще всего встречается одна картина. Именно эту картину и записали в машинной «памяти».

МАШИНУ УЧАТ РАСПОЗНАВАТЬ РЕЧЬ ПО-РАЗНОМУ: словами, слогами, фонемами — отдельными звуками.

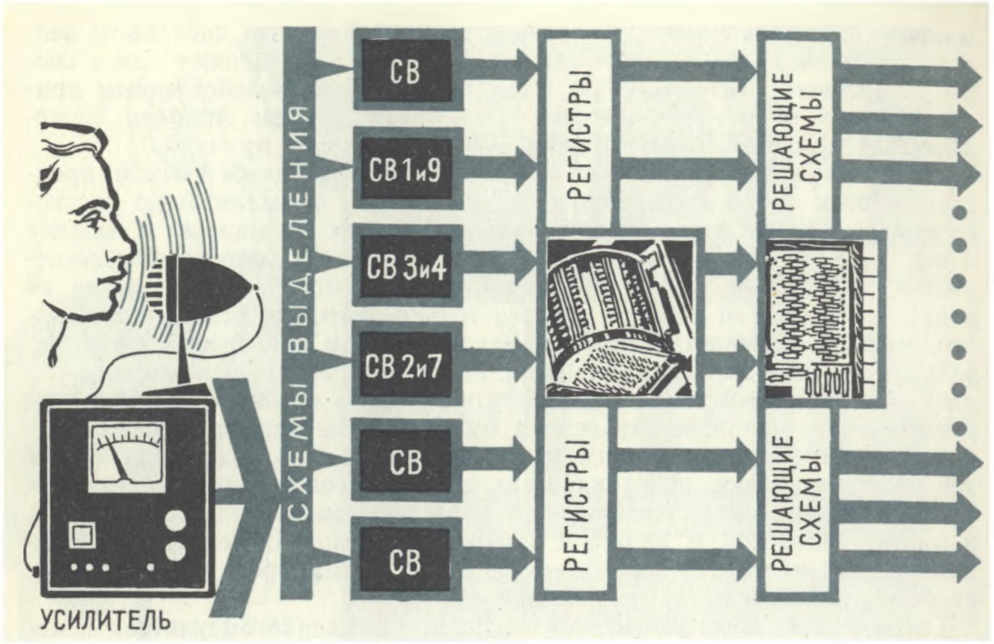
Машину «Кирпичик», например, учили узнавать слова по чередованию звонких и шумовых звуков. Для этого в «Кирпичике» предусмотрена специальная «схема выделения», где слова разбиваются по признакам на группы. Нужные слова четким голосом произносят перед микрофоном, а затем они проходят через усилитель. Из «схем выделения» преобразованные в импульсы слова попадают в цепочки регистров и «решающих схем».

Здесь результаты выделения анализируются. Сколько слов распознает машина, столько выводящих схем нужно предусмотреть в ней.

«Кирпичик» знает 16 слов, 10 цифр и 6 специальных команд — арифметических действий с цифрами.



Так делают речь «видимой». Микрофон преобразует звук в электрический ток соответствующих частот. Затем его пропускают через частотный фильтр. Каждому фильтру соответствует определенный диапазон высоты звуков. Маленькие электрические лампочки, подключенные к фильтрам, реагируют яркостью света на колебания тока. Изменение яркости фиксируется на светочувствительной пленке. Внизу — четырнадцать различных картин, полученных при 100 произношениях буквы «А».



Машина «Кирпичик» узнает слова по чередованию звонких и шумовых звуков (СВ — схема выделения).

Нельзя не признать, что работа эта требует немалых затрат, усилий, экспериментов, времени. И все-таки это легко, легко по сравнению с теми трудностями, которые преодолевают кибернетики, решая проблему распознавания речи.

Теперь поговорим о том, что трудно: машина должна не только распознавать звуки, но и понимать речь. Понимать речь — отличие огромное. А сейчас машине не понятен ни один живой язык.

Ведь почти любая звучащая фраза может быть воспринята по-разному. Даже такая немудрящая, как: «Завод выпускает тракторы», сложна для машины. А слова-омонимы, звучащие совершенно одинаково, но имеющие разный смысл? А образы, гиперболы, сравнения? Как «передать» их машине, «машинному разумению»?

Машина негибка, «неповоротлива» в восприятии слов, она не может различать эмоциональные и смысловые оттенки. Для нее недоступно образное мышление: только сухая логичность, только строгая однозначность, только неумолимая точность — никакой свободы, никакой эластичности, никакой иносказательности!

Чрезвычайно трудно преодолеть этот смысловой барьер, заставить

машину понимать живую человеческую речь! Разными способами действуют ученые, разные «педагогические приемы» применяют они к своим «металлическим» ученикам. Но, пожалуй, самым действенным признан теперь метод, предложенный советским ученым Андреем Ершовым. Вот как описывает его автор, показывая сам принцип.

«Предположим, машина «владеет» некоторым входным языком, представляющим собой достаточно содержательную формализацию русского языка. Не зная этого входного языка, человек обращается к машине в той форме, которую он считает удобной для себя. Электронно-вычислительная машина имеет программу, которая определяет, понятен ей заданный текст или нет или понятен только частично. Если текст понятен, машина начинает выполнять задание. Если же текст непонятен, электронно-вычислительная машина, выделяя из него неясные места, задаст вам серию вопросов. Вы ответите ей опять в той форме, которую сочтете более удачной. Эти ответы будут как бы перефразировкой неясных машине вопросов, пересказ «другими словами». Машина, получив эти перефразировки, подставляет их в текст и опять анализирует его. Если ей еще что-то неясно, она опять задаст дополнительные вопросы, и между человеком и машиной завяжется диалог. В результате этого диалога человек будет все более упрощать формулировку задания, пока оно полностью не будет понятно машине.

Такой разговор, пожалуй, можно сравнить с диалогом учителя и нерадивого ученика. Ученик никак не хочет понять, что хочет от него учитель, и задает вопросы до тех пор, пока ему, как говорится, все «не разжуют». Только в случае с машиной сложнее. Диалог человека с электронно-вычислительной машиной можно охарактеризовать как приспособление человека к возможностям машины, как некое «привыкание» одного к другому.

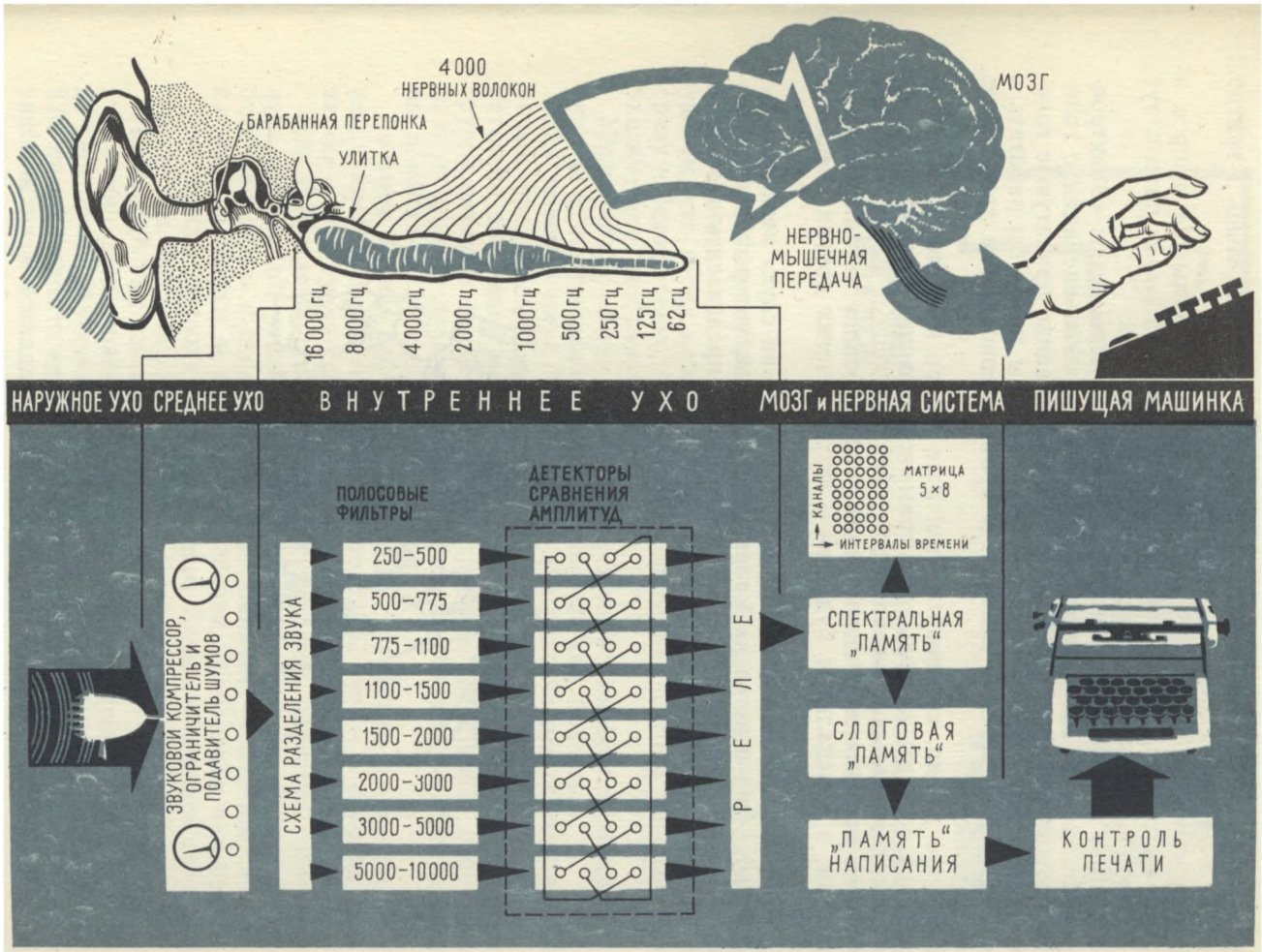
...Во взаимоотношениях человека и машины надо добиться, чтобы машина с каждым новым заданием становилась все «понятливее», чтобы, получая аналогичные задания, она не задавала одних и тех же вопросов.

Иначе говоря, надо, чтобы машина сохранила в своей электронной «памяти» «протоколы» всех бесед с человеком и свои новые задания употребляла в дальнейшей работе. Это не что иное, как обучение машины человеческому языку».

Но пока... Пока мы разговариваем с машиной так, как удобно не нам, а ей. Бурное же развитие вычислительной техники, широкое применение электронных управляющих систем поставило вопрос о тесном общении человека с машиной. Надо добиться, чтобы в этом общении не было временных разрывов: человек сказал, машина сделала. Вот поэтому-то и стараются научить машину понимать язык людей.

Преимущества тесного контакта человека и машины неоспоримы.

Представьте себе, насколько упростилась бы работа специалистов по машинному переводу. Не нужны были бы кодировщики, переводящие



Машина, печатая под диктовку, распознает свыше пятидесяти односложных слов. Звуки после усиления поступают в фильтры, где разделяются по частоте, и затем передаются в блок сравнения. Здесь происходит перекодирование звуков — они записываются цифрами. Затем цифровой код сравнивается с записанными в «памяти» кодами распознаваемых слогов. Совпадение записей означает, что соответствующий слог найден. Тогда машина печатает его.

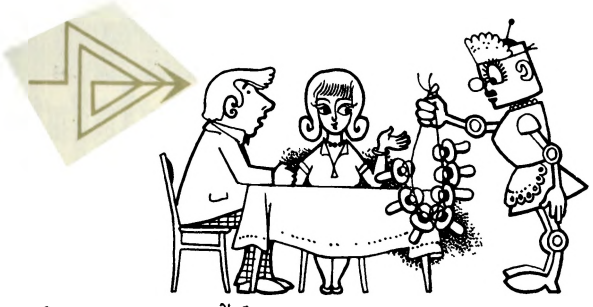
текст в «цифровой вид». Читай перед микрофоном раздельно и внятно фразы — машина все понимает.

Или другая картина: информационная машина, услышав вопрос о том, где, когда, кем, кому, на какое изобретение был выдан патент, тут же выдает вам справку — точную, исчерпывающую.

Говорящие и понимающие машины были бы нужны везде. «Электронные арифмометры» производили бы арифметические операции с голоса. Управляющие системы, переработав информацию, принятую с голоса, отдавали бы нужные приказы. Такие машины могли бы работать в научно-исследовательских центрах, в промышленности, на транспорте, на строительстве.

И как это нужно, как необходимо! Уже теперь в диалог с машиной приходится вступать не только программистам-вычислителям, но и людям неподготовленным: экономистам, использующим вычислительную технику на производстве; диспетчерам, управляющим автоматическими системами; а в недалеком будущем — людям многих других специальностей.

Сегодня электронные машины воспринимают «на слух» несколько десятков слов. Они похожи на маленького ребенка, который только «составляет» свой словарный запас, только учится произносить слова, чтобы вскоре заговорить, «как все».



– Она, видно, не расслышала?! Я заказывала сосиски ..



РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ

Теория и принципы построения систем, способных различать предметы, явления и ситуации и группировать их в образы.

ЧТО ЕСТЬ ЧТО!

Одна из удивительнейших способностей человека — способность узнавать — ни у кого не вызывает удивления. Мы сразу, только увидев, узнаем, что перед нами корабль, бабочка, чашка, слон и т. п. Узнаем сразу и безошибочно, будь то сам «оригинал» или его уменьшенное или увеличенное изображение.

Удивляет нас не это потрясающее свойство, наоборот, потерю его считают сверхъестественным, рассматривают как болезнь...

Мы живем в мире, окружающем нас различными образами — явлениями, предметами, ситуациями. И когда мы их воспринимаем, то обязательно разбиваем на группы похожих — классифицируем. Подчас в группе похожих оказываются очень разные, значительно отличающиеся один от другого предметы, но в чем-то они обязательно схожи, одинаковы в каких-то определенных принципах.

Возьмем буквы алфавита. Каким бы «трудным» почерком ни были они написаны, мы всегда узнаем, что буква «у» — это буква «у», буква «д» — это буква «д», буква «з» — это буква «з»...

Или сопоставим такие разные рисунки, как, допустим, портрет человека, сделанный рукой мастера, и детский рисунок. При разительном отличии налицо и сходство: каждый понимает — и в том и в другом случае художники, и взрослый и ребенок, изобразили человека.

Нет нужды приводить примеры еще. Зачем объяснять понятное? — можете вы возразить.

Понятное? Так ли это?

Способностью узнавать человек обладает испокон веков. И все-таки до сего времени ученые в точности не знают, как же человек узнает. Как он по каким-то едва уловимым признакам, зачастую неполным характеристикам «складывает» в своем мозгу понятие образа? Того обра-



Все фигуры, изображенные вверху, мы называем буквой «А», несмотря на большое различие в их начертании. Любой знак письменности — буква или цифра — при написании может подвергнуться всевозможным искажениям.

за, который в восприятии окружающего мира, в процессах познания мира, раскрытия его тайн играет важнейшую роль.

И здесь мы опять сталкиваемся с парадоксом, которых отнюдь не мало, когда речь заходит о загадках человеческого мозга, человеческой психики: не зная, как человек «строит» образ, ученые «знают цену» этой способности. Они утверждают, что восприятие явлений действительности в форме образов дает возможность более экономно использовать память. Ведь образ освобождает нас от необходимости запоминать не-

счетное множество конкретных предметов, явлений. Именно образ позволяет нам пользоваться накопленным ранее опытом.

Ученые весьма авторитетно говорят, что, не обладая способностью группировать объекты в образы, мы становились бы в тупик перед каждым новым явлением (совсем как вычислительная электронная машина). Ведь ни один предмет, ни одно явление никогда не бывает точным повторением, точной копией встречавшихся нам ранее!

Чем же достигается эта наша способность, которую трудно переоценить? Конечно, обучением. Обучаясь, накапливая опыт, человек классифицирует виденное, распознает образы.

И вот тут перед учеными встает вопрос, совершенно неожиданный для непосвященных и совершенно закономерный для кибернетиков: нельзя ли научить электронные вычислительные машины моделировать процесс распознавания образов?

В качестве ответа хочется привести убедительную цитату из специального энциклопедического издания:

«Принципиальная разрешимость задач распознавания образов вытекает из наличия способности распознавания образов у человека и других живых организмов. В живой природе способность классифицировать сложные ситуации приобретается обучением, поэтому целесообразно использовать принцип обучения для создания классифицирующих автоматов. Их оказывается возможным создать даже в тех случаях, когда конструктору заранее не известны признаки, лежащие в основе классификации, но он располагает достаточным числом примеров отнесения ситуации к определенному классу».

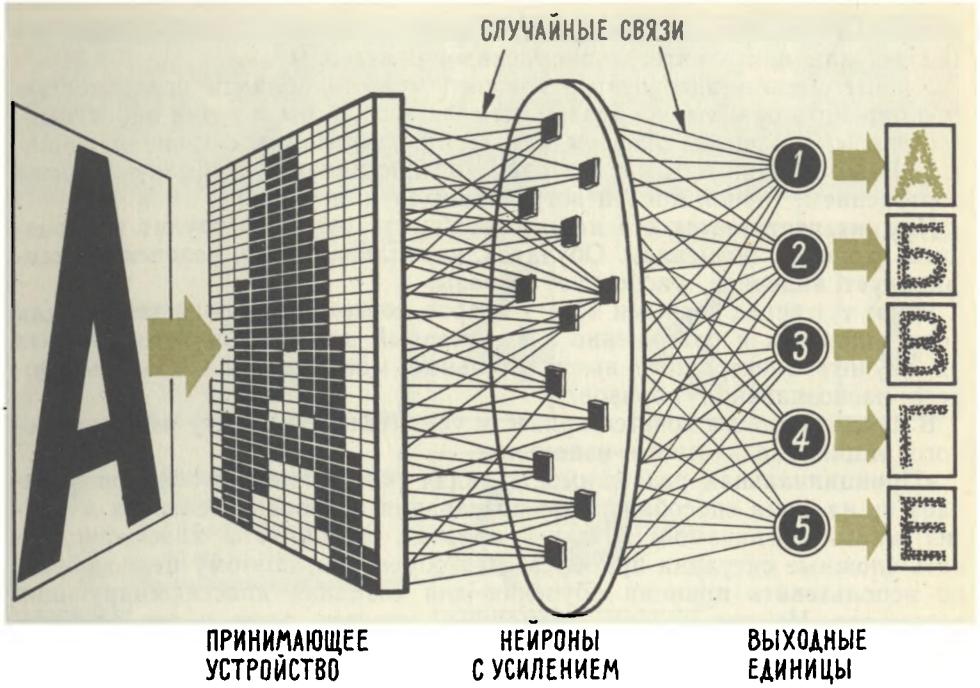
Итак, раз в принципе создать узнающую машину возможно, то ученые во всем мире стали искать пути, как принцип воплотить в действие.

С легкой руки американского кибернетика Ф. Розенблюта, создавшего один из таких первенцев, их стали называть «персептронами».

Персептроны — машины читающие. Долго и трудно давался ученым «ликбез» — ликвидация безграмотности — машин. И вот появились они, эти «грамотные» автоматы. По правде говоря, они мало чем отличаются по внешности от своих «неученых» братьев: все тот же привычный узкий металлический шкаф. Только с «глазами»-экранами. Этот нацеленный на текст оптический глаз фотоэлемента и позволяет машине «читать», распознавать образы букв.

ПОПРОБУЕМ РАЗОБРАТЬСЯ, КАК РАБОТАЕТ ПЕРСЕПТРОН.

Сначала познакомимся с американской машиной. Впереди у нее экран — искусственная сетчатка из четырехсот фотоэлементов. Экран воспринимает образ. Электрические сигналы, порожденные в сетчатке при восприятии образа, бегут к первому этажу «нейронов» — электронных элементов, моделирующих нервную ячейку. Над ними еще один «нейрон» — главный. К нему подведены входные сигналы нижнего



Так работает персептрон. После многократного повторения процесса обучения букве «А» и «усвоения» курса обучения систему «настраивают» на букву «Б» и т. д.

этажа. И от специального устройства идут сигналы-«наказания». Такова принципиальная схема персептрона Розенблюта.

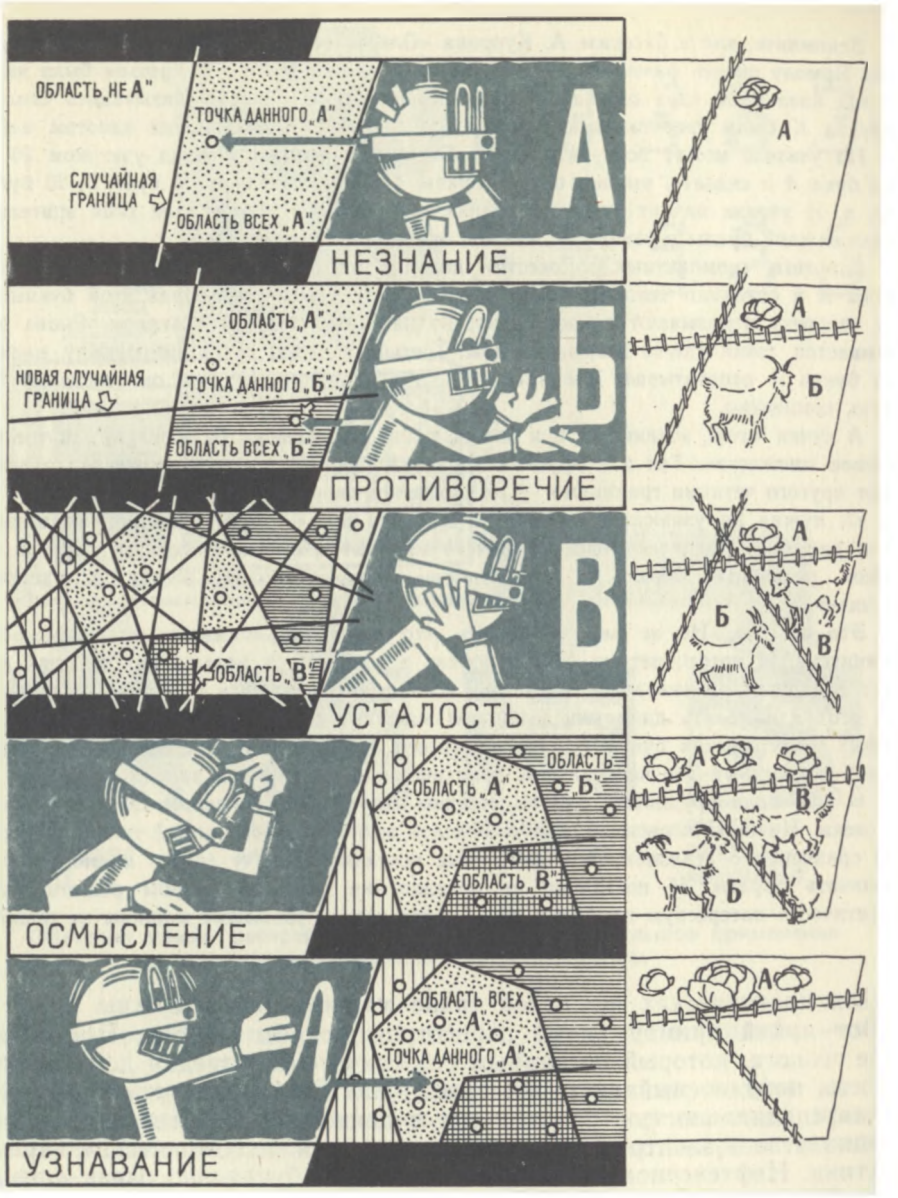
Вот перед экраном поочередно поставили несколько букв. Естественно, они разных начертаний. Но машина узнает их, уверенно отличает «а» от «б», «б» от «в» — любую букву от любой другой.

Долго ли обучали машину этому искусству? Долго. Вначале персептрон часто ошибался, и тогда его «наказывали». Делалось это просто. Если машина ошибалась, оператор нажимал кнопку «наказания», и сигналы, поступавшие к главному «нейрону», порожденные неправильным ответом, ослаблялись. Затем машине снова показывали фигуры и снова оценивали ответ. И когда все сигналы собирались на «совет» к главному «нейрону», то у «провинившихся» было меньше голосов.

Так машина на собственных ошибках училась распознавать образы.

Советские ученые разработали совершенно другой принцип распознавания образов. В его основе лежит гипотеза «компактных множеств». Познакомимся с ней.

Учитель хочет научить малыша распознавать образ — букву *А*. Для этого он объясняет ему, по каким конкретным признакам можно узнать эту букву. Например, по двум наклоненным палочкам с перекладиной посредине.



Узнающая машина, основанная на принципе «компактных множеств». Точка, соответствующая данной букве, попадает в определенную область. Машина, помня, точки какого образа занимают эту область, определит, какая это буква.

Вспомните, как в рассказе А. Куприна «Олеся» герой повествования учил крестьянина Ярмолу писать фамилию. Первая буква фамилии — *П* — у Ярмолы была известна под названием «два стояка и сверху перекладина», буква *О* называлась «колесо», а буква *К* была известна как «палка, а посредине палки кривуля хвостом набок».

Но учитель может поступить иначе. Он может положить перед учеником 20 разных букв *А* и сказать, что все они — буквы *А*. Потом покажет 20 букв *Б*, 20 букв *В* и т. д. И ученик начнет уверенно различать буквы. Он создал для себя зрительный образ каждой буквы и узнает их, как бы они ни были написаны.

Гипотеза «компактных множеств» исходит из предположения, что при показе буквы *А* в сознании человека сразу отпечатывается точка — образ этой буквы. Затем человеку показывают ту же букву, но написанную иным почерком. Снова отпечатывается точка где-то вблизи первой. Третья, десятая, сотая по-разному написанная буква *А* отпечатывает всё новые точки в сознании. Но все они располагаются кучно, компактно.

А кучки точек, возникших при показе разно написанных *Б*, образуют другое компактное множество. Так и с другими образами букв. И каждое множество отделяется от другого четкими границами — их разделяет своего рода забор.

«А нужна ли узнающая машина? — спросите вы. — Ведь «электронные вычислители» работают молниеподобно. Им ничего не стоит сравнить по сотням, тысячам признаков различные образы с «эталонами», которые можно ввести в машинную «память».

Это все так. Но не стоит забывать, что машинная «память», ее объем, всегда ограничена. И потом, нет ни одного образа в точности, в мельчайших деталях похожего на другой. Оказывается, нет даже, если строго обращать внимание на признаки, как это надо делать для вычислительной машины, двух совершенно одинаковых печатных типографских букв. Что же, описывать каждый раз каждый образ с скрупулезной точностью? Это непосильная, практически невыполнимая задача.

И еще одна трудность: работа машины «по эталонам» невозможна без участия человека. Именно человек должен и описать эталон, и дать целый набор признаков для сравнения с эталоном. А ведь ученые поставили задачу самую машину научить различать образы. И поставили не праздно, не для того, чтобы решить только теоретически интересную проблему, но и использовать узнающие машины на практике.

Для практических же целей такие машины очень нужны.

Вот яркий пример, когда персептрон мог бы помочь. Представьте себе геолога, который по данным геологической разведки должен определить, нефтеносный ли перед ним пласт. Геолог-интерпретатор — есть такая специальность — разбирается в данных об особенностях пласта, оценивает его электрические, радиационные и геометрические характеристики. Нефтеносному пласту соответствует буквально океан совокупностей этих характеристик. Столько же характеристик у водоносного пласта, от которого интерпретатор должен отличить нефтеносный. Трудность задачи возрастает непомерно еще и оттого, что нет в геофизике правил, предписывающих относить пласт либо к водоносному, либо



Обучение машин распознаванию образов находит большое применение в науке, технике и на производстве.

к нефтеносному. И отсюда идут ошибки. Очень много ошибок — от 5 до 80%!

Поэтому не мудрено, что задумываются, нельзя ли создать классифицирующую автоматическую систему. Она по определенным признакам могла бы с несравненно более высокой точностью решить задачу о нефтеносности пласта.

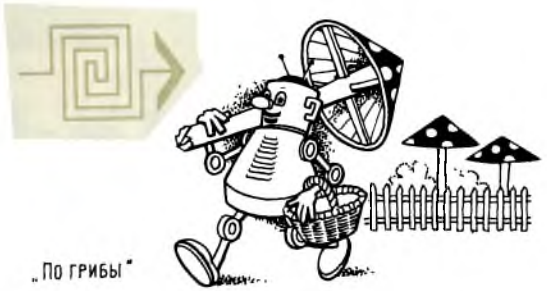
А как изменился бы характер информационных автоматов! Машина «читала» бы с листа. Для нее не надо было бы переводить текст «с человеческого языка на машинный». Она дала бы возможность общаться с ней непосредственно.

При помощи узнающей машины можно будет автоматизировать запись справочных материалов для электронных машин, которые оцениваются ни много ни мало миллиардами слов; автоматизировать процесс сортировки писем на почте; обрабатывать банковские документы; автоматизировать типографский набор и т. п.

Как нетрудно догадаться, намного облегчится и машинный перевод.

Есть и другая сторона в применении узнающих машин. Начав свой путь от подражания человеческой способности к образному восприятию окружающего мира, персептроны помогут раскрыть механизм, по которому человек «строит» образ, классифицирует явления, события, предметы.

К решению проблемы распознавания образов, проблемы важной принципиально и практически, ученые разных специальностей идут различными путями. Это неизбежно и оправданно: создание узнающих машин — задача чрезвычайно трудная.



„По грибы"



РОБОТЫ

Модель или автомат, внешне сходный с человеком, часто выполняющий полезную работу.

«ЭРИК», «ТИНКЕР», «СИБИРЯК» И ДРУГИЕ

Пожалуй, никому сейчас не надо объяснять, что такое робот. Мы уже привыкли к ним, этим неуклюжим, медлительным металлическим подобиям человека. Привыкли к их лампочкам-глазам, ушам-антеннам, к их монотонно-равнодушному магнитофонному голосу. Роботы нас уже не удивляют, мы относимся к ним, как к старым добрым знакомым.

А знаете ли вы, что у роботов есть своя длинная и интересная история?

Первый «механический человек» был построен, как говорит легенда, еще в древности Птолемеем Филадельфом.

Его младший собрат — моложе на много сотен лет — вошел в историю под именем «железного человека». Сделал его Альберт Великий более 700 лет назад. С тех пор он и живет на страницах не одного десятка книг.

Механические люди «овладевали» разными, большей частью «деликатными», «профессиями». Особенно много было флейтистов, барабанщиков, танцовщиков, писцов. Более редкие «профессии» среди роботов — маляры, булочники, парикмахеры. И все они — вне зависимости от своей «профессиональной принадлежности» — сделаны были с величайшим мастерством.

Об искусстве их создателей говорит такой случай.

Прославленный французский механик Жак Вокансон хотел построить ткацкий автомат. Об этом узнали лионские ткачи. Идея изобретателя не пришлась им по душе, и они решили избить Вокансона. Тогда замечательный механик в насмешку над ткачами построил осла, работавшего за ткацким станком.

Увлечение механическими подобиями человека закончилось в начале XIX века. Из шумных парадных залов дворцов, из замков королей «механические люди» перекочевали в тихие музейные залы. Здесь отдыхают они, эти «неживые люди», служившие забавой и развлечением знати.

Но только ли необычностью своей «судьбы» интересны нам эти искусные куклы? Нет, конечно, нет. Механические люди интересуют нас прежде всего тем, что они стоят у истоков пути, которым шло развитие автоматов.

Новые времена принесли с собой новые идеи. В век электричества стали строить «людей электрических». Они выгодно отличались от своих механических «родственников» не только принципом действия, но и приобретением большего числа «функций», близких к функциям человека. Ведь прежние искусственные, механические «люди» выполняли только какую-либо одну: рисовальщик рисовал, цитристка играла на цитре, писец писал и т. д.

А вот «человек электрический».

Автор — американский инженер Венсли — уважительно назвал его «Мистер Телевокс».

Неуклюжий, квадратный, глаза и нос нарисованы. Внешне он очень проигрывал своим механическим предшественникам, но зато он многое умел делать.

«Телевокс» работал бессменным дежурным у водопроводных баков одного из американских небоскребов. Он следил за уровнем воды, пускал в ход насосы.

Мало того, «Телевокс» был снабжен звуковоспроизводящим аппаратом и мог произносить несколько фраз. Робот отвечал на телефонные запросы об уровне воды и работе насосов.

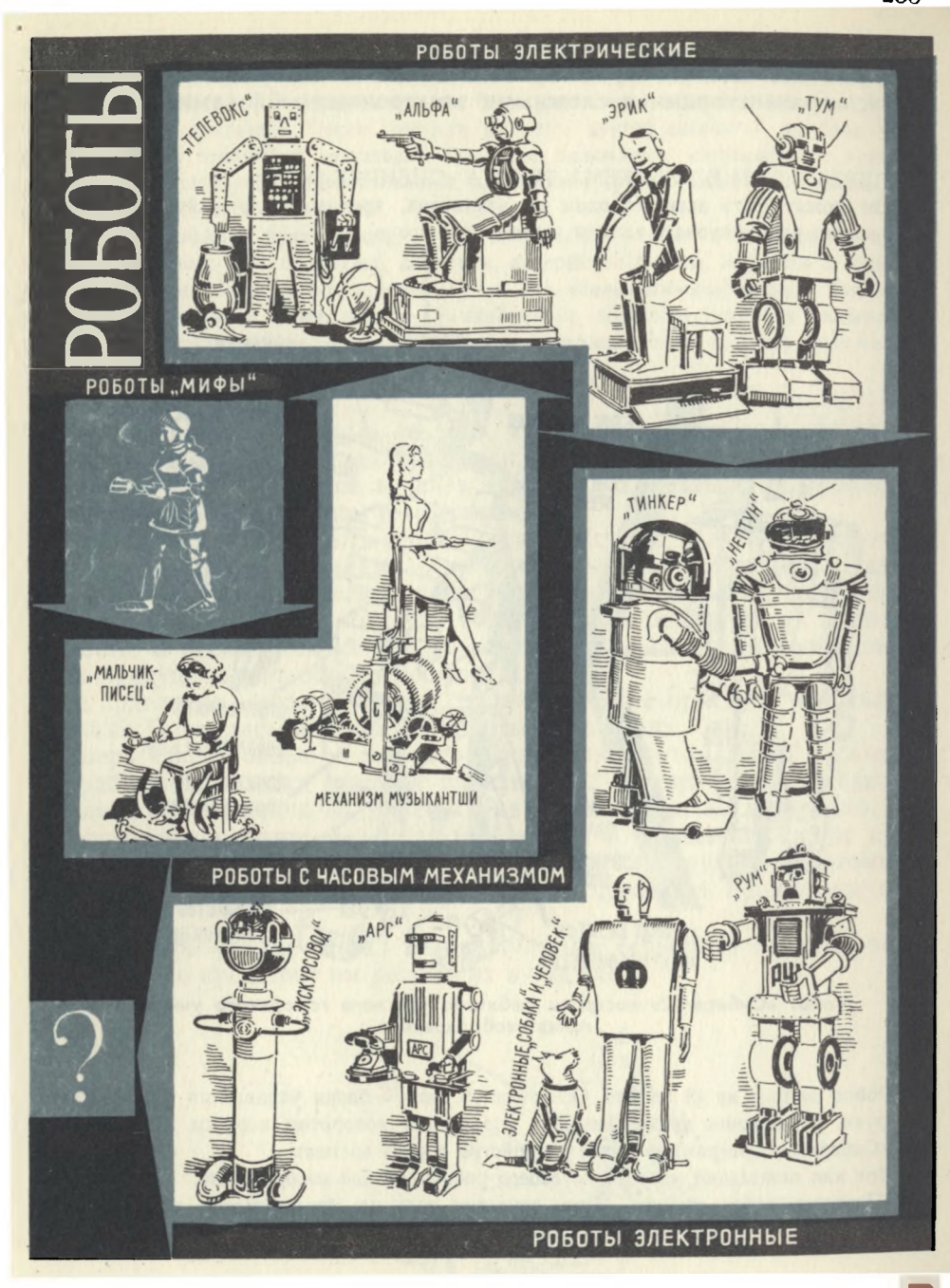
Такая работа куда более сложна, чем работа механического музыканта. Судите сами: в наши дни работу, подобную «Телевоксовой», выполняют автоматизированные диспетчеры на многих автоматизированных производствах.

Помимо серьезной, «профессиональной» работы, «Телевокс» занимался и домашними делами. Он включал пылесос и вентилятор, зажигал лампы в комнате, открывал окна и закрывал двери.

«Мой робот, если сбросить оболочку, — говорил изобретатель, — представляет автоматическую телефонную станцию, в которой в качестве абонентов присоединено несколько электромоторов».

Эти электромоторы и производили все действия «Телевокса». Иными словами — этот робот был типичным представителем «людей электрических».

В самом близком родстве с «Телевоксом» были и другие его современники. Среди них «англичане» «Эрик», сконструированный инженером Ричардсоном, «Альфа» — создание профессора физики Гарри Мея, робот «Вилли» фирмы «Вестингауз» и многие, многие другие.

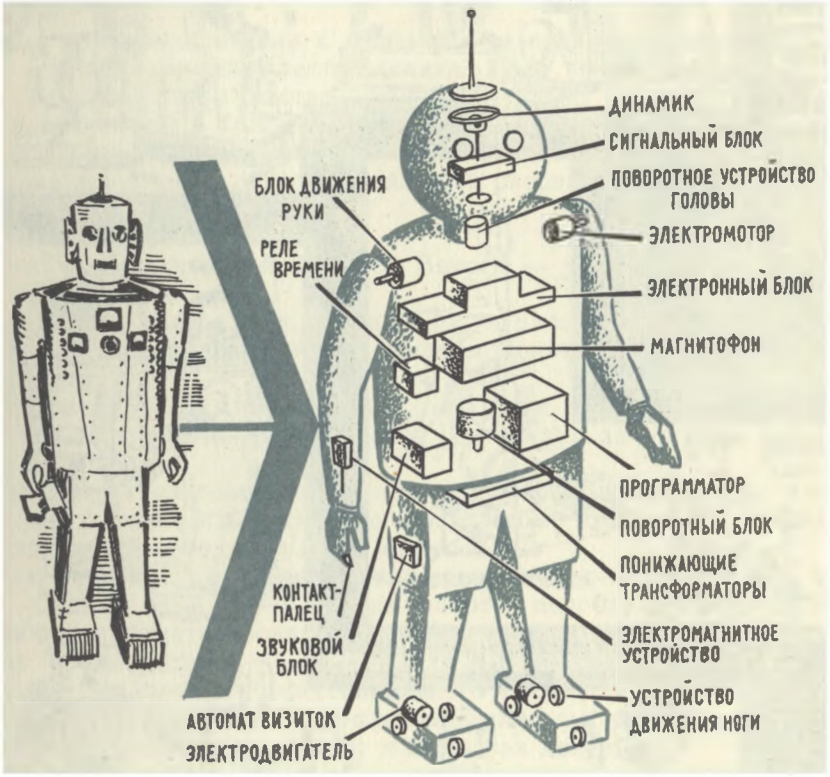


У роботов своя длинная и интересная история.

Роботы сегодня — это создания электронные. Один из них — электронный «житель» Калининграда — так и заявляет: «Сердца не имею. Обхожусь транзисторами и сложными электронными блоками».

ПЕРЕД ВАМИ БЛОК-СХЕМА РОБОТА «СИБИРЯК-2».

Он может быть экскурсоводом на выставках, продавцом лотерейных билетов и книг, может рекламировать товары и натирать паркет.



Робот «Сибиряк-2» построен ребятами Омского городского училища профтехобразования.

Робот состоит из 19 блоков. Основные из них — блоки управления головы и правой руки, управления движением ног, управления поворотом корпуса. Очень важны для «Сибиряка» программирующее устройство и реле времени.

Вот как описывают устройство своего робота омские изобретатели:

«Питается робот от сети. Через звуковое реле на программатор поступает ток напряжением 27 *в*. Там он преобразуется в программные импульсы. Так, на блок

управления «ног» поступают две программы. При первой — робот идет вперед. А для поворота или для движения назад нужна вторая программа. Как же, например, происходит поворот? С программатора на блок управления подается команда. Включается питание двигателя. После поворота подается другой сигнал — на блок остановки, который отключает двигатель. При этом включается магнитофон с записью речи. В результате робот поворачивается и, например, рассказывает посетителям выставки о том или ином экспонате.

Движение правой руки несколько сложнее. Одновременно с двигателем включается устройство, которое выдает, допустим, лотерейные билеты, лежащие в кармане робота. Захватив билет, робот крепко держит его «пальцами»-контактами. Как только посетитель возьмет билет, пальцы смыкаются, и поступает команда «возврат в нуль». В двигатели рук подается ток, и робот возвращается в прежнее положение».

Многое они умеют делать из того, что умеем делать мы, эти «электронные люди», которые далеко ушли от внешнего подобия человеку. Прежде всего бросается в глаза «широкий диапазон» их профессий и совместимость их в одном и том же роботе.

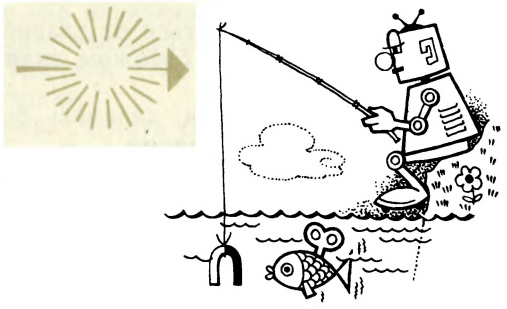
У некоторых роботов есть особенности, присущие только им, роботам: они могут обладать органами чувств, которых нет у человека. Например, робот «ГПТУ» не только видит свет, слышит звук, ощущает тепло, замечает препятствия и ловко их обходит, но и реагирует на радиоактивность. В нескольких метрах от опасной зоны он различными сигналами предупреждает об опасности.

Не правда ли, сегодня можно говорить уже не просто о роботах-игрушках? Появились настоящие роботы-помощники.

Теперь «электронные человечки» испытывают автомашины и самолеты, работают в цехах вредных производств, опускаются в океанские глубины, поднимаются на ракетах для космических исследований.

С помощью роботов моделируют функции и поведение живых организмов, чтобы создать наилучшие инженерные конструкции и автоматы; моделируют биологические процессы, чтобы проверить правильность их понимания.

Уже теперь ученые ставят перед роботами серьезные научные задачи, а сколько предстоит им решить их в будущем!





САМОПРИСПОСАБЛИВАЮЩАЯСЯ СИСТЕМА

Система, у которой автоматически изменяется способ действия с целью наилучшего управления.

НА ПУТИ К «УМНОМУ» АВТОМАТУ

Представьте себе единую автоматическую систему, которая мгновенно отзывается на любые изменения в режиме работы или внешней среды. Повысилась вдруг температура — незамедлительная реакция. Неожиданно упало давление — тут же срабатывают датчики, и оно восстанавливается. Непредвиденное нарушение в составе жидкости — сейчас же система его «выравнивает».

Ну и автомат, думаете вы, такого и не существует! Оказывается, существует. Это живой организм. Именно живой организм — в частности, мы, люди, — представляет собой ту наивыгоднейшую, наилучшую, оптимальную систему, «у которой автоматически изменяется способ действия с целью наилучшего управления».

Самоприспособление — неоценимое свойство живого организма, выработанное в результате миллионнолетней истории, — идеал, к которому стремятся создатели современных автоматов. Появление кибернетики позволило поставить воистину дерзкую задачу: нельзя ли приспособление живых организмов к внешней среде рассматривать как аналог (подобие) для технических автоматических систем с изменяющимися на них воздействиями?

Здесь нам придется несколько отклониться от главного направления, чтобы потом вернуться с определенным багажом знаний, которые помогут продолжить наш путь.

Нам придется познакомиться с такими, казалось бы, простыми понятиями, как хорошая и плохая организация.

На первый взгляд представляется, что и разбираться-то не в чем: хорошая организация та, которая правильно на все реагирует, плохая — та, которая реагирует на все неправильно. На первый взгляд это

так. Организация считается хорошей — независимо от того, кошка это, автопилот или завод-автомат, — когда она работает исправно, действует в строго определенных границах, то есть действует хорошо.

Но подождите, говорит по данному поводу известный английский ученый У. Р. Эшби, любопытство — вещь хорошая, но много антилоп погибло, остановившись поглядеть на шляпу охотника.

Ученый утверждает, что нет ни одного свойства или способности мозга, которые давно и безоговорочно признаны желательными и которые становятся нежелательными в другой обстановке. И он приводит этому примеры. Познакомимся с одним из них.

Хорошо или плохо, что мозг обладает памятью? Это хорошо, если среда устроена так, что будущее часто повторяет прошлое. Если бы события будущего были противоположны, память была бы невыгодной.

Такая ситуация наблюдается, когда крыса, обитающая в канализационных трубах, сталкивается с приманкой. Крыса очень подозрительна, она берет незнакомую пищу только маленькими порциями. Однако если вкусное появляется в одном и том же месте три дня подряд, крыса обучается. На четвертый день она берет приманку смело и отравляется. Крыса, лишенная памяти (организация плохая при обычной оценке), будет и на четвертый день так же подозрительна, как и в первый, она выживет. Таким образом, память при подобных условиях невыгодна.

Следовательно, нельзя мерить на «хорошее» и «плохое»? Любая организация может быть и плохой и хорошей?

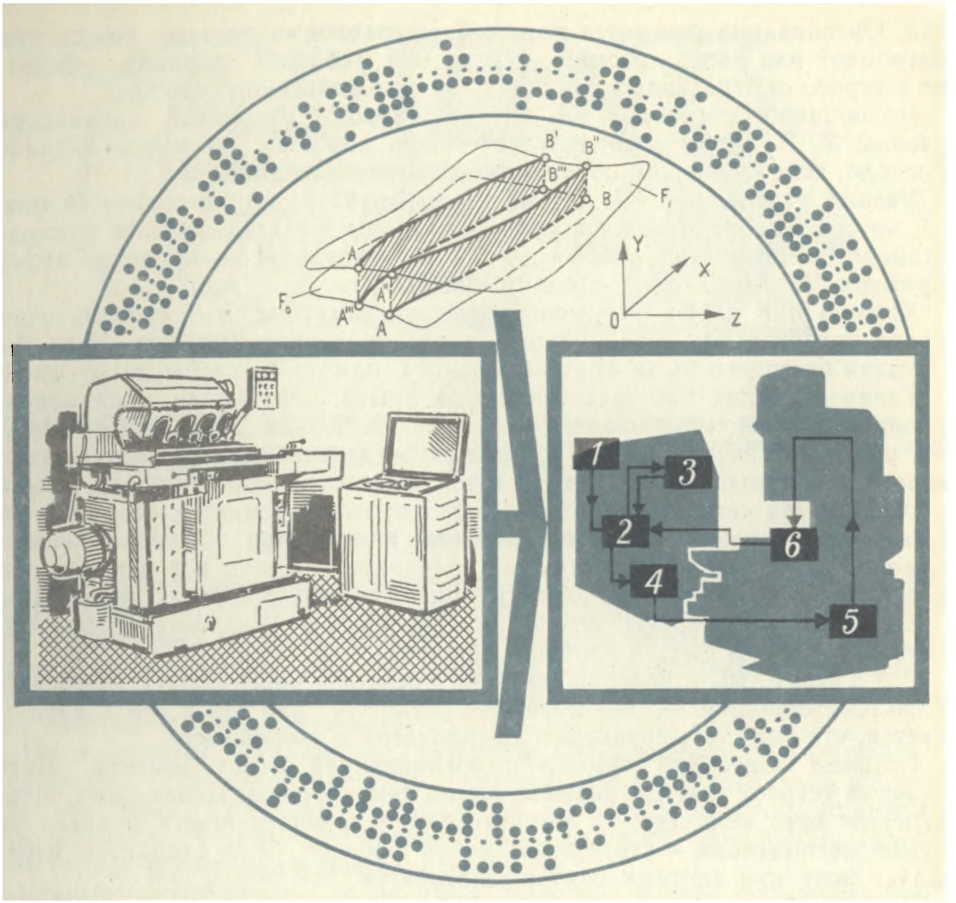
Вот здесь-то мы и возвращаемся на прежнюю нашу дорогу, приходим к системе самоприспосабливающейся. Секрет ее как раз в том и заключается, что она сама переходит от «плохого» к «хорошему».

Возьмем известный пример с организацией мозга ребенка. Мозг сначала устроен так, что ребенка всегда тянет к огню. Перед нами организация явно «плохая». В результате накопленного опыта появляется новая организация — «хорошая», когда ребенок огня старается избежать: мозг как система самоприспособился.

Возможно ли такое самоприспособление в системе технической? Представляете, как это было бы замечательно! Автомат работал бы хорошо не только в нормальной для него обстановке, но и в аварийной, «выравнивался» бы при любых режимах работы, действовал бы подобно человеку.

В самоприспосабливающихся технических системах существует своеобразное деление «по поведению». Наиболее простые из них — самонастраивающиеся, они отыскивают наилучший режим работы в зависимости от внешних влияний. Эти системы все больше и больше находят применение в технике.

Можно, например, сделать самонастраивающимся станок с программным управлением. Для этого нужно, чтобы управляющее устройство следило за отклонениями в размерах изготовляемых деталей, автоматически вносило изменения в программу, по которой работает станок.



Самонастраивающийся станок: 1 — узел программы; 2 — узел самонастройки; 3 — блок «памяти»; 4 — узел управления; 5 — исполнительный механизм; 6 — измерительная система. Процесс самонастройки связан с поисками по результатам (вверху). Станок сам вырабатывает усовершенствованную программу, учитывающую погрешности в обработке изделия.

Тогда несовершенная вначале программа будет по мере работы станка улучшаться, брак сведется к минимуму. Об этих «настройках» станка на лучший режим ученые говорят как о «самоусовершенствовании станком своего алгоритма» — своего руководства к действию.

Раз система может усовершенствовать свой алгоритм работы, то она может усовершенствовать и алгоритм поведения, сделать его «гибким», «ищущим», приспосабливающимся к внешней среде. Такую систему,

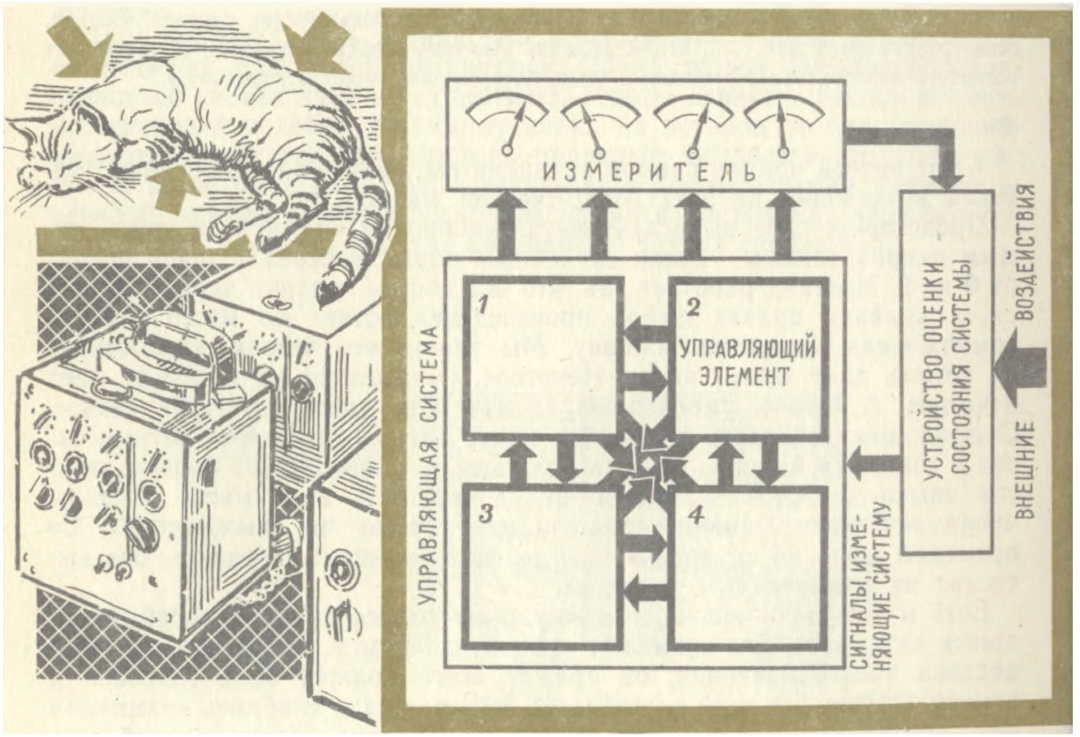
изменяющую характер действия в зависимости от непредвиденных обстоятельств, принято называть самоорганизующейся. Она уже на ступеньку выше самонастраивающейся.

КЛАССИЧЕСКИМ ПРИМЕРОМ САМООРГАНИЗУЮЩЕЙСЯ СИСТЕМЫ СТАЛ ГОМЕОСТАТ, СКОНСТРУИРОВАННЫЙ У. Р. ЭШБИ.

Вот как описывается принцип действия этого аппарата.

«Гомеостат состоял из четырех электромагнитов, сердечники которых, перемещаясь, передвигали ползунки реостатов. Питание электромагнитов включалось через эти реостаты. Отклонение сердечника в крайнее положение вызывало в схеме случайное переключение соединений реостатов и обмоток электромагнитов. Положения всех четырех сердечников были, таким образом, взаимосвязанными, так как ток в каждом соленоиде зависел от положения всех четырех реостатов, а положение каждого реостата зависело от тока в соответствующем соленоиде.

Включение питания вызывало движение всех сердечников и перемещение ползунков всех реостатов. При этом могло быть два случая: либо после некоторого переходного процесса все сердечники находились в некотором устойчивом промежуточном



Гомеостат Эшби — устройство, которое трудно «вывести из равновесия».

состоянии и движение прекращалось, либо система не находила устойчивого состояния и один из сердечников выходил за пределы нормального отклонения, доходя до упора. В схеме тогда происходили случайные переключения, и поиски равновесия возобновлялись. В конце концов после нескольких переключений, осуществлявших случайные переключения в схеме соединений гомеостата, система самостоятельно доходила до такого состояния, при котором оказывалось возможным равновесие, и затем находила это равновесие».

Всего в системе было предусмотрено около 400 тысяч сочетаний положений переключателей. Различные операции с гомеостатом: перестановки упоров, изменение связей, небольшие поломки — ничто не нарушало способности находить равновесие.

«Поведение» гомеостата можно сравнить с поведением кошки. Если ее толкнуть, она устраивается поудобнее и снова засыпает. Так и гомеостат, когда его «толкают» — выводят из равновесия, — «устраивается поудобнее», пробует разные переключения, а потом снова «засыпает», снова находит равновесное состояние.

Высокую оценку экспериментам с гомеостатом дал Норберт Винер: «Я полагаю, что блестящая идея Эшби о целеустремленном, выбранном наугад механизме, добивающемся своих целей через процесс научения, является не только одним из крупных философских достижений современности, но также ведет к весьма полезным техническим выводам в решении задачи автоматизации. Мы не только можем придавать целевую направленность машине, но в подавляющем большинстве случаев машина, сконструированная для того, чтобы избегать некоторого рода ситуаций, где она может потерпеть аварию, будет отыскивать цели, которые она может осуществить».

А вот другой пример самоорганизации системы — моделирование процесса выживания на электронно-счетной машине.

Представьте себе вычислительную машину, в «памяти» которой самым неприхотливым, самым случайным образом перемешались цифры от 0 до 9. Машина работает так, что все цифры попарно перемножаются, а крайняя правая цифра произведения встает на место первого сомножителя. Запустим машину. Мы знаем, что четное, умноженное на четное, дает четное число. Нечетное, умноженное на нечетное, дает нечетное. А четное, умноженное на нечетное, дает опять-таки четное. Отсюда можно сделать вывод, что после смешанных встреч четных чисел в «памяти» машины будет все больше — четные имеют больше шансов «выжить». Они постепенно будут замещать в «памяти» машины числа нечетные. Машина «самоорганизовалась» на «выживание». Со временем, проводя «в жизнь» свое целенаправленное поведение, она вытеснит из «памяти» все нечетные.

Есть и еще один вид в этом «мудром» классе самоприспосабливающихся автоматов. Его называют самообучающимся. Чтобы автомат был достоин такого названия, он прежде всего должен быть способен к поиску. Обучив его этой способности, автомат надо снабдить «памятью» для накопления информации в процессе поиска. Затем разработать систему «поощрений», когда его действие удачно, и «наказаний» при

неудачах. Такой метод самообучения называется методом проб и ошибок, и его применяют в некоторых программах для задач на обучение.

Вот пример работы программы для самообучающейся машины.

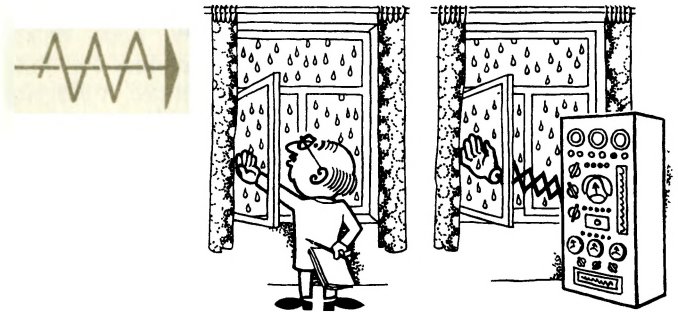
Машину разделили на две части. Одна играла роль «ученика», другая представляла собой несколько «магазинов» с разным ассортиментом товаров. «Ученик» должен был научиться быстро находить нужный товар.

Вначале «ученик» блуждал по «магазинам», стараясь найти товар. В одном из них его ждала удача — он «натыкался» на товар. Тогда он «запоминал» этот «магазин»: ведь за это он получал «поощрение».

Меняли товар. Надо было снова «обходить магазины». Снова поиски, снова удача, за которую положено «поощрение». И конечно, снова «зарубка» в «памяти». Так продолжалось несколько раз. В результате тренировки «ученик» самообучался: он уже безошибочно «отправлялся» в тот или иной «магазин» за нужным в данном случае товаром.

Что и говорить, автоматы, поступающие подобным образом, по праву можно назвать «умными» — ведь они очень напоминают настоящих, живых учеников. Недаром такие механизмы ученые называют мозгоподобными.

Надо, однако, иметь в виду, что исследования в этом направлении, по существу, еще только начинаются. Общей теории самоприспосабливающихся систем пока не существует. Можно сказать, что эта область исследований подобна огромному полю, на котором то там, то тут намечаются межи поисков. Но если правильно возделать это поле, оно может вознаградить за труд и затраченное время богатым урожаем — разнообразными самоприспосабливающимися системами, верными помощниками человека там, где ему самому трудно справиться.





СЕМИОТИКА

Комплекс научных теорий, изучающих свойства знаковых систем.

ВНИМАНИЕ! ЗНАКИ...

Перед вами довольно разношерстный перечень:
разговорный язык,
химическая символика,
знаки уличного движения,
«язык» дельфинов и пчел,
математические формулы,
азбука Морзе,
искусственные «языки» машин.

Пока достаточно. Как вы думаете, что объединяет эти столь разные понятия, взятые из столь разных сфер жизни? То, что перед вами примеры знаковых систем, что в их состав входят знаки.

Что же такое знак, что может быть знаком? Каждый из вас, впервые произнеся слово «мама», подал знак. А сколько используют знаков во время игр... Или всем знакомый школьный звонок. Это знак начала занятий или перемены. А какую большую роль играли знаки в жизни подпольщиков!.. Особым, условленным способом задернутая занавеска или цветок, поставленный на подоконнике, предупреждали об опасности.

Помните «Алые паруса» Александра Грина? Маленькой девочке Асоль рассказали добрую сказку: когда она будет большая, за ней приплывет прекрасный принц, чтобы увезти с собой в страну счастья на корабле с алыми парусами. Асоль поверила сказке. Она вглядывалась в даль моря, ждала алые паруса — ждала знака, с которого началась бы ее счастливая жизнь.

Системой знаков служит и «язык» животных. Вам, наверное, случалось наблюдать, как по-разному кричат куры. Когда наседка созывает своих питомцев, она озабоченно квохчет. Когда надо предупредить об

опасности, она поднимает тревожный крик. Ученые насчитали в «курином языке» около десятка команд-знаков.

Своеобразными знаками передают различную, зачастую сложную информацию насекомые. Муравьи, например, «разговаривают» с помощью «языка запахов». А пчелы в «разговоре» прибегают к «танцу». «Танцем» пчелы рассказывают, где сладкий нектар, как найти дорогу к улью, и о многом другом.

Сейчас ученые очень внимательно изучают «язык» дельфинов.

Однако все эти «языки» отличаются от человеческого не только бедностью выразительных средств, малым количеством знаков, но и совершенно другим качеством своим. Для животных, в отличие от человека, знак всегда говорит о действительности, значение его всегда конкретно, знак действует всегда только в данную минуту.

Знаки — это и различные «языки жестов». Знаком может быть и сломанная ветка дерева, и дым от костра, если договориться, что будут они обозначать: тревогу, знак посадки самолета, место встречи. Вообще, как вы, наверное, обратили внимание, знак — это условный сигнал, обозначающий что-то определенное. Знак — очень широкое понятие. Но всегда это материальный предмет, будь то событие, явление, действие. И всегда этот предмет выступает в общении — конкретно или условно. Знак (это вы тоже, конечно, заметили) всегда служит для хранения, передачи или преобразования информации — разнообразных сведений.

ЗНАКИ ВСЕГДА СУЩЕСТВУЮТ В СИСТЕМЕ. Например, один и тот же знак «Р» в русском алфавите означает букву «р», в латинском сооответствует нашей букве «п», а тот же знак, стоящий на дорожном указателе, гласит: «Стоянка автомашин разрешена».

С помощью знаковых систем осуществляется общение людей, они получают возможность познавать природу, трудиться.

Ученые разделяют знаковые системы на две категории: естественные и искусственные.

К естественным знаковым системам относятся «языки» животных, «языки запахов», «языки жестов» и т. д. Самой совершенной естественной звуковой системой является наш человеческий язык. Это очень подвижная, гибкая, развитая система. Возникший в результате общения, человеческий язык и служит для общения людей. Наш человеческий язык помогает нам выражать мысли, высказывать желания, передавать оттенки чувств. Недаром В. И. Ленин называл язык основным средством человеческого общения.

Чем выше «взбирается» человечество в общественном развитии, тем больше возникает знаковых систем. Поэтому число их растет постоянно. И в основном за счет искусственных знаковых систем. Их примерами могут служить и математические, и физические формулы, и химическая символика, и упоминавшаяся уже дорожная сигнализация.

Чаще всего искусственные системы играют вспомогательную роль: они выражают



Классификация знаков.

то, что можно сказать и естественными знаками, но более сжато, более четко, более экономно. Они отражают сразу и готовый результат, и путь, идя по которому можно этот результат получить.

Действительно, выраженный словами результат даже несложного математического исследования занял бы несколько страниц текста, если бы кто-то задумал привычную формулу «переложить» привычными буквами алфавита, собранными в слова.

А попробуйте сложить число один миллион семьсот тринадцать тысяч пятьсот один с числом двенадцать миллионов одна тысяча триста девяносто девять, записанные вот так — словами? Воистину задача не из легких! И как просто складывать цифры!

$$\begin{array}{r} 1\,713\,501 \\ +\,12\,001\,399 \\ \hline 13\,714\,900 \end{array}$$

Есть и «самостоятельные» искусственные системы. К таким системам знаков, которые все больше и больше получают распространение в последнее время, прежде всего относятся языки-посредники для машинного перевода и логического исчисления.

Есть и еще одно подразделение в знаках. Их делят на языковые и неязыковые. Это разделение провести нетрудно. Оно, что называется, лежит на поверхности. Ясно, что все естественные и искусственные языки — знаки языковые. А вот различные схемы, чертежи, рисунки, вывески, географические карты, иллюстрации, диаграммы, танцы, пантомима, музыка, скульптура — этот список можно и еще продолжить — системы неязыковые.

Знаки и знаковые системы изучает специальная наука — семиотика. Название ее произошло от слова «семиос», что по-гречески означает «знак».

Само собой разумеется, что знаки привлекли к себе внимание ученых. А поскольку знаки появились с возникновением человеческого мышления, то и изучать их стали очень и очень давно. Еще Аристотель и другие древнегреческие философы задумывались о познавательной роли знаков.

По мере того как накапливался опыт человечества, все шире и глубже становилось его научное проникновение в тайны природы, все яснее становилось и число общих для различных знаковых систем закономерностей. Но идеи семиотики прежде всего заявили о себе в математической логике с ее символами и четкими обозначениями. Здесь знаки, пожалуй, были «обнаженнее», нежели в других науках. Работы в этом направлении связаны с именами великого немецкого ученого Г. В. Лейбница и английского мыслителя Д. Локка.

Следующей «жертвой» семиотических идей стала лингвистика. В работах французского ученого Ф. де Соссюра говорится о том, что потребность в общении у людей порождает системы условных знаков. Соссюр называл среди них обряды, этикет, военные сигналы. Главное, центральное место среди прочих систем ученый отводил языку.

Основные принципы науки семиотики сформулированы американским ученым Чарлзом Пирсом и пополнялись и развивались учеными многих стран и многих научных школ в 30-х годах нашего века. Среди них наибольшее признание и наибольшие результаты по праву принадлежат польской и русской школам.

Не показалось ли вам, что семиотика стремится «объять необъятное»? Уж очень широк круг вопросов, в который она старается «втиснуться». Нет, отвечают специалисты. Семиотика пытается разобраться во многих отраслях человеческого знания только под определенным углом зрения: разные объекты исследований, разные предметы изучения рассматриваются ею предельно направленно, только с одной стороны — что такое они как знаки, служащие для выражения какого-то определенного содержания.

Поэтому у семиотики необыкновенно большой диапазон действий. Чтобы не быть голословными, сошлемся на столь авторитетное собрание, как наш Первый симпозиум по семиотике. Он проходил в декабре 1962 года в Москве.

Ученые под «семиотическим углом» рассматривали самые разные, подчас неожиданные и удивительные для непосвященного вопросы. Конечно, много внимания было уделено естественному языку как знаковой системе.

С точки зрения семиотики, интересно описание этикета. Оказывается, что гадание на игральных картах для семиотики чрезвычайно заманчиво, так как «эта относительно простая семиотическая система может представлять интерес для общей семиотики». Точно так же, как регулирование уличного движения «позволяет легче всего выяснить некоторые общие закономерности строения знаковых систем».

Поднимаясь со ступеньки на ступеньку по лестнице «выявления некоторых общих закономерностей», семиотика изучает и совсем уж «неземные предметы». Она дала специалистам в руки искусный инструмент, позволяющий сконструировать язык для общения с инопланетными цивилизациями.

Да, да. На Земле разработан специальный язык для общения с нашими «братьями по разуму». Автор его, голландский ученый Ганс Фройденталь, назвал этот язык «линкос» — лингва космика, космический язык.

Линкос основан на единстве законов во Вселенной, в частности законов математических. Фройденталь на этих законах, отражающих реальность мира, и строит многоярусное и разветвленное здание линкоса. Этот язык иерархичен, в нем сложная система взаимоотношений, усложнений, «ступенек трудностей».

Безусловно, для космической связи надо выбрать соответствующие средства: радиосигнал или световой импульс. Ими и кодировать сначала первые математические понятия: цифры, знаки равенства, суть двоичной системы. Затем более сложная ступень: изложение арифмети-

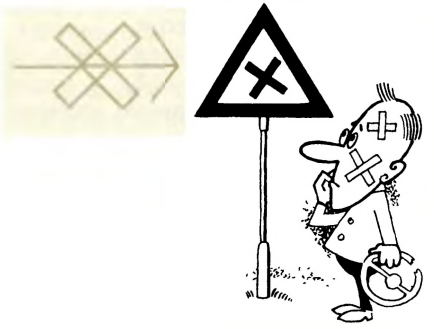
ческих правил. Затем — алгебра... и так до высшей математики. И наконец, с помощью абстрактной математики Фройденталь переходит к оценкам человеческого поведения, рассказу о нас — землянах, о том, как мы живем, о Земле — «доме», в котором мы родились.

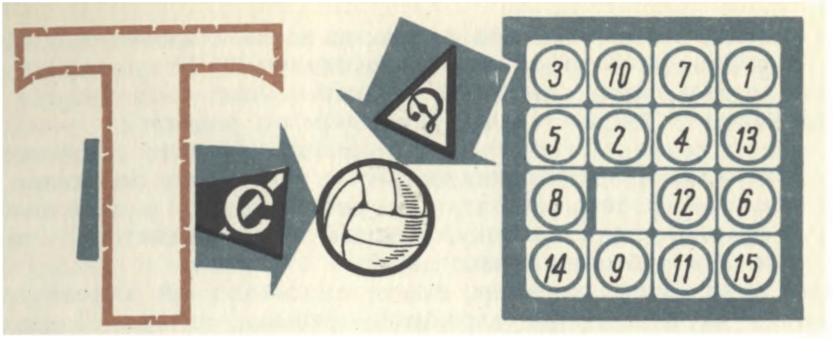
Вы можете обвинить семиотику в том, что она чисто теоретическая наука и что даже создание линкоса вас не убеждает в противном. Да, семиотика — наука теоретическая, но она приносит и практическую пользу. Вспомните хотя бы искусственные знаковые системы — языки-посредники для кибернетических машин.

Далее. Семиотика, например, вместе с психологией и физиологией занимается изучением, где «хранятся» речевые центры. Результаты этих исследований принесли несомненную практическую пользу: работы нескольких советских ученых помогли сконструировать специальный язык для людей, лишенных слуха. Этот пример — помощь медицине.

Другой — из области педагогики. Педагоги все пристальнее вглядываются в знаки: в этом нет ничего удивительного, ведь обучение во многом сводится к овладению знаками.

А тем, кого и примеры не убеждают, не стоит забывать, что удивительные возможности семиотики, вообще-то говоря, стали «проявляться» не так уж давно. Поэтому естественно в будущем ждать от этой науки и новых открытий, и новых успехов.





ТЕОРИЯ ИГР

Математическая дисциплина, устанавливающая количественные закономерности в конфликтных ситуациях.

«КРАСНЫЕ» ПРОТИВ «СИНИХ»

Ни один человек за всю свою жизнь не переиграл всех игр, которые есть на свете, — игр существует множество. У каждой свои правила, свои особенности. Хоккей, например, отличается от футбола, прятки — от «казаков-разбойников», домино — от «крестиков-ноликов», «морской бой» — от игры в слова, и т. д. и т. п. И все-таки эти совершенно непохожие игры принципиально — в главном — совершенно одинаковы.

В чем эта одинаковость? В столкновении интересов.

Вася и Петя играют в «морской бой». Каждому во что бы то ни стало хочется выиграть: столкновение интересов.

«Раз, два, три, четыре, пять! Я иду искать!» — предостерегает ребят тот, кто водит. Он должен найти кого-либо, а задача прячущихся — не попасться ему на глаза. Опять столкновение интересов.

На футбольном поле встречаются прославленные наши команды «Динамо» и «Спартак». Кто-то из них должен стать победителем. «Динамо» безусловно приложит к этому все силы. И «Спартак» полон решимости победить. Столкновение интересов.

Столкновение интересов есть не только в играх. Оно случается часто, намного чаще, чем мы предполагаем. Проследите под этим углом зрения один из своих обычных дней. Сколько раз сталкивались ваши интересы с чьими-то!

В повседневной жизни, в практической деятельности очень часто встречаются ситуации, когда разные люди имеют разные интересы и располагают разными путями в достижении разных целей. Иными словами, всем нам часто приходится сталкиваться с конфликтными ситуациями. Настолько часто, что конфликты, столкновения интересов признаны даже одной из главных тем в художественной литературе.

Мы преодолеваем конфликт, когда играем с приятелем в шахматы.

«Проходит через конфликт» и ребенок, который ни за что на свете не хочет спать вопреки желанию родителей.

Конфликтна ситуация между продавцом на рынке — он, конечно, хочет подороже продать товар — и покупателем, который хочет купить подешевле.

Примером политического конфликта в капиталистических странах служат разногласия между враждующими политическими партиями во время предвыборной кампании.

Конфликт между зайцем и лисой как биологическими видами в условиях борьбы за существование.

Конфликт... В нашем представлении это дело запутанное, подчас субъективное, часто эмоциональное и всегда — трудное. Всегда нелегко разрешить конфликтную ситуацию. А вот современная математическая наука считает возможным не только провести анализ конфликтной ситуации, но и «просчитать», как должен вести себя каждый партнер, чтобы достигнуть цели. У математики есть свой подход к столкновению интересов. Им занимаются специалисты по теории игр.

Для того чтобы провести математический анализ конфликта, надо прежде всего самым строгим образом «обнажить», «проявить» столкновение интересов, сделать их столь же четкими и не вызывающими никаких сомнений, как в игре. где и непосвященному ясно, кто борется против кого.

Математики так и поступают: они строят упрощенную модель конфликтной ситуации, которую называют игрой. Ее-то, эту модель-игру, и ведут по определенным правилам. А для простоты — и, пожалуй, по привычке и понятности — в математическую теорию игр «перекочевала» и обычная игровая терминология. Участников игры называют игроками, результат — выигрышем или платежом.

Правда, смысл терминов здесь несколько иной. В теории игр «игроком» могут быть и несколько человек с определенным интересом, которые борются против одного или, наоборот, против большого количества противников, которые тоже признаны «игроком». Значит, игрок — это просто одна группа интересов. Футбольный матч, с точки зрения теории игр, будет «просчитываться» как один игрок против одного. В этом смысле он не отличается от шахматной партии.

Выдающийся французский математик Луи Борель еще в начале нашего века предпринял издание большого, многотомного «Курса теории вероятностей и ее приложений». Предпоследний том был посвящен «Приложениям к азартным играм». Ученый подвел в нем итог своим длительным исследованиям азартных игр, которыми он интересовался как математик. В теорию игр Борель внес смелые и оригинальные идеи.

До него все ограничивались рассмотрением игр, где ход игры определялся случаем, а не игроками. Борель попытался найти математическую формулировку игр, когда течение игры зависело от умения игроков. Со временем многие ученые развили теорию игр до такой степени,

что она стала гораздо шире теории азартных игр и ее результаты нашли большое применение.

Обычно так всегда и бывает — игру намного труднее рассказать, проще показать, как в нее играют. И нам легче будет разобраться в основных понятиях теории игр, если мы обратимся к одному из многочисленных примеров, которые приводят специалисты.

ПРЕДСТАВИМ СЕБЕ ДВУХ ИГРОКОВ *А* и *Б*. Каждый из них независимо один от другого пишет на бумажках одно из чисел: 0, 1, 2. Затем они показывают бумажки друг другу и складывают написанные числа. Если сумма четная, *Б* уплачивает *А* число рублей, равное сумме чисел. Если сумма нечетная, *А* платит ее *Б*.

Запись чисел и предъявление их друг другу называются ходом игры. Сознательный выбор системы последовательных ходов именуется стратегией. Игрок принимает решение: «В таких-то обстоятельствах я буду поступать так-то». А выигрыш одного или другого противника, как вы уже знаете, носит название платежа.

Постараемся проследить течение игры.

Результаты всех возможных ходов можно заранее перечислить. *А* пишет 0 (нуль), *Б* тоже пишет 0. Сумма равна нулю, и никто из игроков ничего не получает.

А пишет 0, *Б* пишет 1 — сумма число нечетное. *А* проигрывает, а *Б* выигрывает один рубль.

А снова пишет 0, *Б* пишет 2 — сумма четная. *Б* теперь проигрывает, выигрывает два рубля *А*.

Такой же перебор можно произвести и с числами: (1, 1), (1, 2), (2, 1) и (2, 2). Нетрудно заметить, что число возможных комбинаций, из которых независимо друг от друга будут выбирать *А* и *Б*, всего $3\times3=9$.

Обозначим стратегию *А* писать 0 через A_1, 1 — через A_2, а 2 — через A_3. Так же обозначим стратегии и для *Б* — $Б_1$, $Б_2$, $Б_3$. Тогда все возможные выигрыши и проигрыши (как «выигрыш» со знаком минус) можно представить таблицей.

Таблица, в которой записаны выигрыши и проигрыши противников в результате применения всех возможных стратегий, называется платежной матрицей, а игра — матричной игрой.

Что видно из анализа платежной матрицы? Прежде всего противник *А* должен признать противника *Б* достаточно умным, ибо он обязательно применит такую стратегию, чтобы сделать выигрыш *А* наименьшим при всех его стратегиях. Во-вторых, игрок *А* должен из всех минимально возможных выигрышей выбрать ту стратегию, которая обеспечит ему максимальный выигрыш. Такой стратегией для *А* является A_1 — всегда писать нуль. Применяя ее, он проигрывает не более 1 рубля.

Рассуждая аналогично, за игрока *Б*, мы установим, что он тоже будет выбирать стратегию, по какой он меньше всего проиграет. Для этого надо посмотреть платежную матрицу по столбцам и найти наименьшую сумму, которую может выиграть *А*. Суммы выигрышей *А* и *Б* выписаны под таблицей.

Цель теории игр — выработать рекомендации для каждого из противников, как вести себя в «сражении». Пользуясь этими математическими советами, противники могут выбрать наивыгоднейшую, оптимальную стратегию, чтобы обеспечить и той и



ЗАПИСИ		СУММА	ВЫИГРЫШИ-ПРОИГРЫШИ	
А	Б	Σ	А	Б
0	0	0	0	0
0	1	1	−1	+1
0	2	2	+2	−2

	$Б_1$	$Б_2$	$Б_3$	МИНИМУМ
A_1	0	−1	2	−1
A_2	−1	2	−3	−3
A_3	2	−3	4	−3

$$min \cdot max = 2 \quad max \cdot min = -1$$

Стратегии игроков А и Б и платежная матрица.

другой стороне наилучший исход игры. Правда, практически никогда одна какая-либо стратегия не применяется, партнеры довольно часто меняют ее, придерживаются смешанных стратегий.

Однако какая бы игра ни шла, как бы ни меняли *А* и *Б* стратегии, всегда противники хотят действовать противоположно, интересы их сталкиваются. *А* стремится, чтобы наименьший выигрыш, который он думает получить, был как можно большим (это называют максимином). *Б*, в свою очередь, стремится сделать как можно меньшей ту наибольшую сумму, которую он должен отдать *А* (это называется минимаксом)

Как видите, главная цель игрока состоит в том, чтобы получить наибольший выигрыш у своего искусного противника, поставившего перед собой противоположную задачу. обыграть своего противника.

Значит, игрок желает выиграть, но не может рассчитывать на промах противника. Игрок в теории игр знает: как бы ни была хороша его стратегия, противник обязательно сделает наилучший контрход. Поэтому при подсчете платежей игрок учитывает наихудшие, которые может получить

Но как количественно определить, кто же из противников (таких точных, таких бесстрастных, не делающих ошибок, логически рассуждающих) выиграет? Определить сравнительно легко. В каждой игре существует некоторый платеж, который получает хороший игрок, сражаясь против хорошего же игрока. Такой платеж называется ценой игры. Она-то и определяет выигрыш: мы никогда не сможем выиграть больше цены игры, если наш противник не делает ошибок.

Разберем с этой целью еще одну простую игру с двумя противниками и двумя стратегиями. Ее условно называют «Бомбардировочной операцией».

Предположим, что два бомбардировщика «синих» вылетели на задание. Один из них несет бомбы, а другой — оборудование для создания помех радиолокаторам, различную аппаратуру для определения ущерба и т. п.

Бомбардировщики летят в таком строю, что первый находится под большей защитой пушек второго бомбардировщика, чем второй — под защитой первого. Есть опасения, как бы носитель бомб не был сбит в результате атак истребителей «красных». Проблема заключается в следующем: какой из бомбардировщиков должен нести бомбы — первый или второй? И какой из них должен быть атакован «красными»? То есть как должен вести себя каждый из противников, чтобы добиться наивыгоднейшего результата?

Здесь возможны следующие стратегии:

«Синие»-1 — носитель бомб в менее выгодном положении.

«Синие»-2 — носитель бомб в более выгодном положении.

«Красные»-1 — атаковать бомбардировщик в менее выгодном положении.

«Красные»-2 — атаковать бомбардировщик в более выгодном положении.

Предположим, что шансы носителя бомб выжить равны 60 из 100, если он будет атакован в менее выгодном положении; и 80 из 100, если его атакуют в более выгодном положении; и 100, если он не будет атакован вообще.

Запишем это так, как принято в теории игр, — матрицей.

«Красные» и «синие», естественно, должны менять свои стратегии. Подсчитано, что на 20 случаев применения первой стратегии будет 40 случаев применения второй. Выходит, «синие» должны предпочесть защищенное положение бомбардировщика в отношении 40 : 20. А «красные» должны в том же соотношении (40 : 20) атаковать защищенный бомбардировщик.

Теперь мы можем подсчитать цену игры для «синих»:

$$\frac{20\times 60+40\times 100}{20+40}=86\frac{2}{3}\ \text{процента.}$$



Игра под условным названием «Бомбардировочная операция».

А теперь после довольно утомительных логических рассуждений познакомимся со скандальной историей, случившейся несколько лет назад в игорных домах Европы.

...Сначала на них никто не обращал внимания. Эти молодые люди заходили в казино поглядеть на игру в рулетку. Они останавливались возле игорных столов и записывали в блокноты номера выигрышей. «Просто так, любопытства ради», — отвечали они тому, кто их спрашивал: «Зачем?»

А спустя два месяца в Монте-Карло, в этой столице игорных домов, разразилась гроза. Снова пришли те молодые люди. Но теперь они не записывали выигрыши, а сами стали играть. И беспроигрышно. Поразительно! Необъяснимо!

Журналисты захотели найти объяснение. И считают, что нашли. Оказывается, молодые люди не ради любопытства записывали номера выигрышей — непонятные вереницы чисел. Мало того, они еще их и закодировали. И после этого переслали в Лондон своему компаньону. Тот

обработал их с помощью электронно-вычислительной машины. По-видимому, машина сделала то, что не под силу человеку: обработав миллионы чисел, она разгадала несколько точных вариантов выигрышей.

Правда, многие специалисты утверждают, что такое могло произойти только в том случае, если у рулетки был какой-то постоянный дефект. Возможно, он и был, но о нем не знали ни владельцы игорного дома, ни участвовавшие в подсчетах люди.

Но сколько же машине понадобилось вести расчетов? Неизвестно. Однако известно другое. Один американский математик установил: чтобы определить точные выигрыши в очко, надо проанализировать 34 миллиона вариантов расклада карт. Правда, такая задача для человека непосильна, но на помощь жаждущему выигрышей математику пришла электронная машина. Он задал ей 10 тысяч человеко-лет работы, и машина рассчитала варианты беспроигрышных партий.

В «американском случае» машинное руководство к действию (алгоритм поиска вариантов) было составлено так, чтобы изыскивать повышение вероятностей благоприятного исхода. Именно с этой целью «перебирала» машина горы цифр и чисел, строя свою «игру» против вымышленного противника по законам теории игр.

Право же, не стоило создавать целое направление в математике, законно заметите вы, чтобы помогать выигрывать в азартные игры! Конечно, теория игр создана не для этого (да, кстати, заметим, что в играх, подобных рулетке и лото, не существует такого руководства к действию, которое давало бы всегда строго определенную выигрышную стратегию).

Азартные игры, модели игр служат тем пробным камнем, на котором теория игр пытается проверить куда более серьезные задачи.

С помощью теории игр кибернетики стремятся выработать целесообразную «линию поведения» для многих и многих систем, ведущих борьбу против другой системы.

Что же скрывается за понятием борьбы одной системы против другой? Таких примеров чрезвычайно много, с ними сталкиваются разные специалисты. Например, теорию игр можно применить к задачам военной связи, к военно-воздушной обороне (конечно, задачи там намного сложнее решенной нами бомбардировочной операции), к задачам, которые приходится решать командиру в сражении.

Под углом зрения теории игр можно рассматривать и работу экспериментатора, который составляет программу действий — план экспериментов.

Их можно рассматривать как игру, где противниками выступают ученый и нервная система животного, которую он изучает.

Против ответных действий «противника»-потребителя «играет» экономист, планирующий работу производящего предприятия.

В некоторых случаях и взаимоотношения так называемых юридиче-

ских лиц (предположим, в суде) можно рассматривать как игру, в которой противники стремятся к противоположным целям.

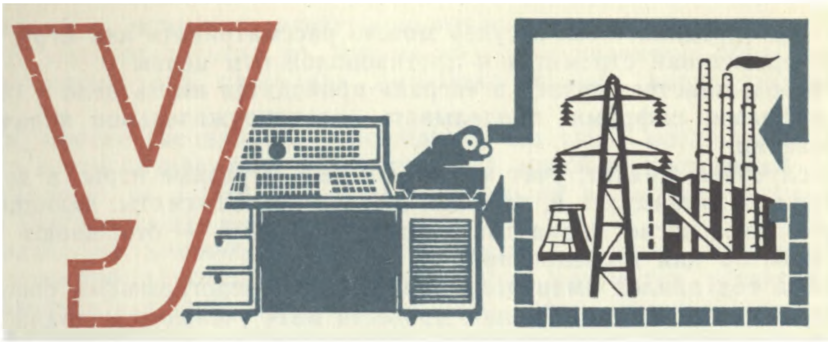
И в большинстве случаев в «играх» приходится иметь дело с цифрами, цифрами, цифрами: проделывать головокружительное количество вычислений.

Не случайно, значит, учат машины играть в разные игры: в домино, в шашки, в пятнадцать и, конечно, в шахматы. Шахматы, дающие астрономическое число вариантов партий — $2 \cdot 10^{116}!$ — открывают большой простор для исследований.

Целый год длился «машинный матч» между программами советской и американской машин. Умению провести матч ученые придавали очень большое значение: от «шахматного дарования» машин, то есть от программ, которые составляют математики, зависело решение сложных проблем в теории игр. А это, в свою очередь, позволяет решать и важные научные, народнохозяйственные и военные задачи.

Вот, оказывается, для чего математики на бумаге разыгрывают сражения «красных» и «синих», вот для чего учат электронно-вычислительные машины вести разные игры с полным знанием дела, быть опытным, маститым противником.





УПРАВЛЯЮЩАЯ МАШИНА

Вычислительная машина для автоматического управления сложным объектом.

ГДЕ ЧЕЛОВЕК НЕ СПРАВЛЯЕТСЯ

Чтобы яснее представить себе все значение управляющих машин для современного производства, начнем разговор о них издалека. Давайте совершим вместе с учеными-машиноведами некое подобие исторического исследования и посмотрим, какова же роль машины в деятельности людей, конкретно — в производстве.

Как известно, даже примитивные машины имитировали некоторые человеческие способности. Например, первые машины — они увеличивали силу человека. С помощью рычага и блока можно было передавать, передвигать, поднимать предметы.

После машин, преобразующих и увеличивающих силу, появились машины, которые механизировали движение.

Возьмем другую нашу способность — точность. Изобрели тиски для зажима изделия — увеличили точность обработки предметов. Это, если хотите, был уже переход от преобразования силы и движения к управлению.

Потом возникает иная проблема: как перейти к управлению целой последовательностью операций, как осуществить переход от одного изделия к другому? Человек это делает просто: у него есть специальное «управляющее устройство» — мозг. Создали электронно-вычислительные машины — появилась и первая возможность создать искусственные системы для подобных сложных управляющих операций.

Но управление управлению рознь. Оказывается, существует целая иерархия управлений — разные его уровни. В современных условиях, при современной технике нетрудно добиться, чтобы станок правильно работал. Но есть и более высокий уровень управления, когда надо добиться, чтобы станок работал еще и эффективно. Для этого уже нужно

скопировать более сложную функцию — способность человека действовать рационально.

А теперь поднимемся еще на одну ступеньку в иерархии управления, мы к этому готовы. Возьмем целый завод, на котором работает много станков. Согласитесь, здесь управление более высокого порядка, поскольку мы уже выходим за пределы возможностей человека обходиться без специализированных электронных помощников.

Сегодня люди могут спланировать работу завода, получить какой-то результат. Но они не в состоянии из-за большого объема исходных данных самостоятельно найти правильный план комплексного использования всех станков с учетом запасов сырья, заказов и других условий.

Возьмем такой пример. Старый Путиловский завод на заре XX века выпускал машины, которые полностью изготовлялись из металла. Сюда, на завод, не везли с других предприятий ничего, кроме угля, кокса, чугуна. Теперь же этот завод имеет сотни поставщиков, потому что изделия намного усложнились. Есть машины, в которые монтируются даже электронные устройства и узлы. Для новой продукции необходимы десятки тысяч деталей с других заводов. Попробуйте синхронизировать, соединить, согласовать все в единый комплекс — работу станков, людей, поступление сырья, выход готовой продукции, — да так, чтобы нигде не было перебоев, задержки, чтобы завод работал, как слаженный механизм.

Вот тут-то и понадобились в помощь людям сложные управляющие машины.

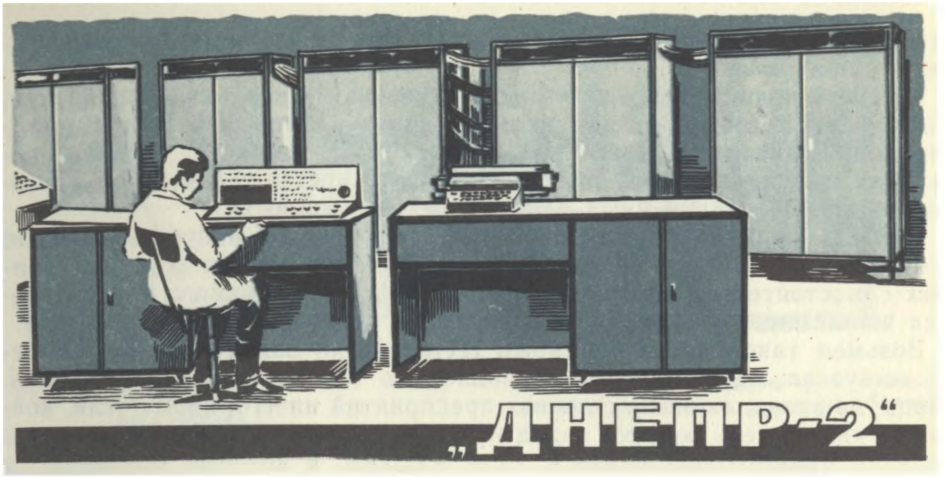
Видите, как помог нам небольшой исторический экскурс — постепенно мы пришли от простых машин, увеличивающих силу человека, помогающих его мускулам, к сложным машинам, увеличивающим способности человека к управлению: к автоматическим системам, помогающим нервной системе людей — их мозгу.

Ученые подсчитали, что в современной промышленности мощность рабочего, составляющая в среднем 0,1 *л. с.*, усиливается до средней величины в 1000 *л. с.* его помощниками-машинами. Аналогичная степень усиления умственных способностей дала бы значительный коэффициент, равный одному миллиону. Такими волшебниками-усилителями проявили себя управляющие машины.

Какими же особенностями они обладают?

Главное, они принципиально отличаются от других машин. Это совершенно новый класс помощников человека. Не машины-орудия и не машины-двигатели. Управляющие машины преобразовывают информацию в процессе управления. А это, как правило, всегда связано с вычислениями.

Цель управляющих машин — обеспечить нормальный или максимальный, но обязательно эффективный режим работы, наивысшую производительность, высокое качество изделий, наименьшие затраты труда, сырья, энергии. Как видите, задачи сложные.



Управляющая машина — центральное звено в информационно-управляющих системах промышленных предприятий.

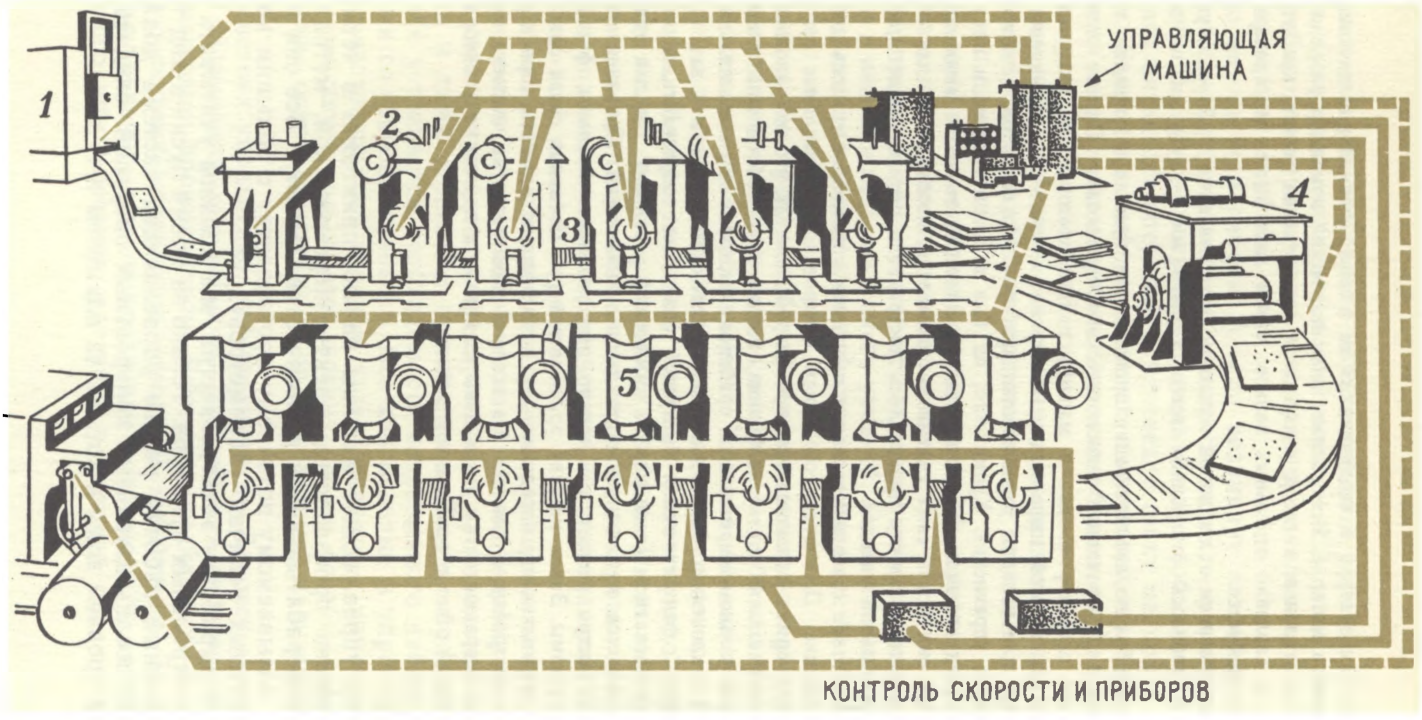
Перед нами отечественная управляющая система «Днепр». Она может быть или бухгалтером, или сталеваром, или экономистом, или лоцманом. Все зависит от заложенной в нее программы. «Днепр» хорошо зарекомендовал себя в металлургической и судостроительной промышленности. Используется он и для обработки данных сложных физических экспериментов.

Система состоит из двух частей: центрального устройства — электронно-вычислительной машины — и управляющего комплекса. Работая, машина «опрашивает» по заложенной в нее программе несколько сот датчиков, установленных на управляемых объектах. Затем она обрабатывает полученную информацию, и от машины к объектам поступают команды управления.

ПОСМОТРИМ, КАК БУДЕТ ТРУДИТЬСЯ УПРАВЛЯЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО, КОМАНДУЯ МОЩНЫМ ПРОКАТНЫМ СТАНОМ.

Раскаленные, пышущие нестерпимым жаром 20-тонные стальные слябы толщиной более полуметра, выйдя из печи, должны пройти через 12-валковые рабочие клети прокатного стана, чтобы превратиться постепенно в тонкие стальные листы. Дело титанически трудное — раскатать стальную болванку в тонкий лист — и ювелирно точное: отклонение в толщине листа не должно превышать сотых долей миллиметра. Удлиняясь по мере проката, сталь в момент прохождения между валками последней клети движется со скоростью 900 *м/мин*, почти 60 *км/час*! И при такой скорости контрольно-измерительные приборы, расположенные по пути проката, сообщат управляющему устройству толщину и напряжение стали на различных этапах. Зональные

ЦИФРОВОЙ РЕГУЛЯТОР



Управляющая машина командует прокатным станом.

Стальные слябы проходят через печь (1), с большой скоростью пропускают через ряд станов: обрезальный (2), обжимочно-прокатный (3), строгальный (4), шлифовальный (5) — и наконец, пройдя валики койлера, выходят в виде тонких листов. Пунктиром обозначено поступление данных в управляющую машину; сплошными линиями — подача команд на контрольные центры и оттуда на отдельные приборы.

регуляторы отметят температуру и «подравняют» ее в печи, специальные датчики зафиксируют изменения в металле. Все данные кибернетический командир разложит по полочкам, сравнит с эталоном в своей «памяти» и моментально решит, как отрегулировать скорость и давление отдельных валков, чтобы лист вышел из проката такой толщины, какая требуется.

Нормальным отклонением от заданной толщины листа считается 0,13 *мм*, а управляющее устройство добилось отклонения всего в 0,076 *мм* — чуть ли не вдвое меньше!

Не сразу специалисты по автоматизации производства пришли к созданию таких совершенных машин для управления технологическими процессами. Первые попытки начались с того, что оператор вводил в машину данные, которые он получал от приборов. Основываясь на этой информации, электронно-вычислительная машина вырабатывала указания для наладки управляющих приборов. Но оператор, естественно, замедлял весь процесс управления. Кроме того, он был в такой системе и не очень надежным звеном. Тогда решили соединить приборы непосредственно с вычислительной машиной. Теперь она могла сама считывать показатели, необходимые для расчетов. Но и здесь оператору самому приходилось настраивать регулирующие приборы по командам вычислительной машины.

Лишь на третьем этапе совершенствования процессов управления удалось добиться полной автоматизации. Для этого соединили контрольно-измерительные приборы и органы управления прямо с вычислительным устройством. И что же произошло?

Обратимся к специальной статье: «Машина, соединенная собственной системой связи с сотнями контрольно-измерительных приборов, быстро и последовательно собирает сведения об отклонениях от нормы в технологическом процессе и затем анализирует положение. С фантастической быстротой она может определить, что происходит, скажем, на прокатном стане или на химической установке, где для точного определения хода процесса нужно произвести тысячи вычислений. Проанализировав положение, машина быстро решает, как нужно отрегулировать клапаны, форсунки, валки и другие механизмы. Затем машина принимает меры. По линии связи она дает команды органам, управляющим определенными механизмами агрегата, приказывая произвести нужную настройку. Буквально без всякого вмешательства человека машина может повторять операцию сотни раз в день из недели в неделю, а в свободную минуту печатать сжатый отчет о проделанной работе».

Успешнее всего управляющие машины начали применять в четырех главнейших отраслях производства: электроэнергетической, металлургической, нефтеперерабатывающей и химической. Почему? Все они принадлежат к так называемому поточному производству с большим количеством регулируемых величин (параметров).

Автоматизируя выработку электроэнергии, мы должны учитывать показания тысяч контрольных приборов. Только за время пуска в ход турбины ТЭЦ на полный рабочий режим управляющая система должна провести до 1000 последовательных контрольных операций: следить за охлаждением, за уровнем воды в котлах, за пламенем и т. д.

Но, оказывается, это только начало трудной работы. Пустив агрегат, машина буквально «хватается за голову». Ей надо по показаниям 1560 приборов контролировать температуру, давление, поток пара, скорость вращения турбины.

И это ее обычная работа. А если возникнут аварийные обстоятельства — ведь всякое бывает на электростанциях, — управляющая машина начеку. В случае прекращения подачи газа (обычного топлива) она проделает пятьдесят операций и переведет топку на нефть — запасное топливо. Если даже выйдет из строя подшипник турбины, и это не «испугает» машину-командира. Она способна в несколько минут выключить весь энергетический гигант.

К этому надо добавить, что машина одновременно вычисляет технико-экономические показатели, подытоживает отчетные данные, подсчитывает к. п. д. станции.

И еще одно важное дополнение для полной характеристики управляющей машины — она не делает ошибок.

Теперь пришло время вспомнить об иерархии управления, о существовании в нем нижнего и верхнего уровней. Один из инициаторов создания управляющих систем в нашей стране, академик В. М. Глушков так определяет их задачи:

«Для нижнего уровня выбираются относительно простые высоконадежные машины, основная задача которых — работа с объектом управления в истинном масштабе времени. Каждая из машин нижнего уровня способна заменить несколько десятков и даже сотен автоматических регуляторов. Машина высшего уровня — это гораздо более сложная и гораздо более сложно устроенная машина. Такая машина обслуживает до нескольких десятков машин нижнего уровня и занимается в основном оптимизационными расчетами, планированием и организацией работы всей системы в целом».

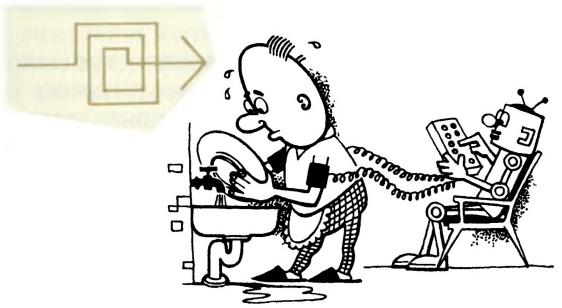
Теперь вам ясно, что ступенчатое, иерархическое построение систем управления как бы само собой толкает к естественному переходу — системам управления целыми предприятиями, производственными объединениями и даже отраслями производства. Таким образом, в широком масштабе устраняется необходимость непрерывного наблюдения за автоматами со стороны человека. Все контрольные и управляющие функции сосредоточиваются в одном узле. Человек — командир производства — действует как стратег, потому что он освобождается от решения мелких оперативных задач, от повседневной производственной «текучки».

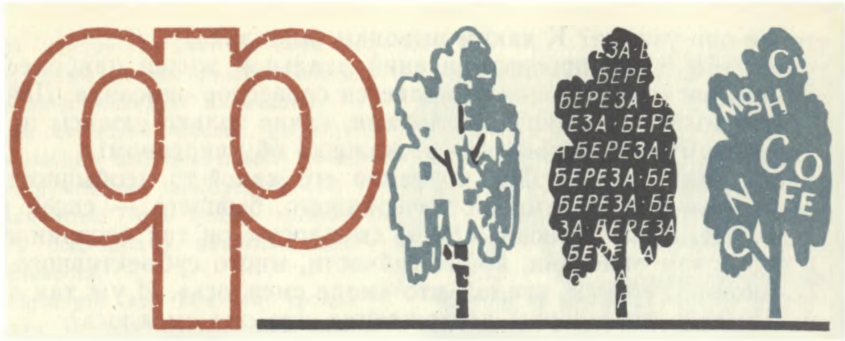
Вот система управления, действующая на Львовском телевизионном заводе. Называется она «Львов». Это типовая система для предприятий с массовым производством. Ее можно подключить в общегосударственную систему управления народным хозяйством. За год «Львов» позволил увеличить выпуск продукции почти на 20% за счет более эффективного использования материалов, точного соблюдения графика,

улучшения технологии и совершенствования организационно-технического управления. Действительно, невиданное дело — без увеличения производственных мощностей увеличение производства телевизоров почти на 20 тысяч штук.

В системе управления «Львов» главную роль играла электронно-вычислительная машина «Минск-22». К ней от технологической схемы производства идет информация о ходе работы, а также от счетчиков готовой продукции, находящихся на конвейере и в отделе технического контроля. Целый комплекс средств диспетчерской службы: телевизионные установки, телефоны, сигнализация, всевозможные табло — помогает в управлении. А быстродействующие печатные устройства оформляют отчетные документы. Вся документация на заводе ведется в таком виде, чтобы ее удобно было вводить в машину. Поэтому она в любой момент располагает полной картиной состояния дел на заводе.

В промышленности нашей страны уже трудится много управляющих систем: кроме «Днепра» и «Львова», работает, например, «Комплекс». Он хорошо «справляется» с управлением мощными тепловыми электростанциями. «Каскад» незаменим для управления аммиачными заводами. А система «Тайга» представляет целое содружество из шестнадцати электронно-вычислительных машин «Ангара» и двух машин «Байкал». Столь мощная система понадобилась для управления гигантом лесохимии — Братским лесопромышленным комплексом в Иркутской области.





ФОРМАЛИЗАЦИЯ

Уточнение содержания изучаемых предметов, которое давало бы право оперировать с ними с помощью математических методов.

ЖЕСТКОЕ СУЩЕСТВО ДЕЛА

Есть несколько путей, несколько методов описания окружающего нас мира.

Творения старых мастеров живописи, произведения прославленных писателей, созданные великими композиторами музыкальные шедевры входят в большую категорию, которую специалисты называют «описаниями чувственно воспринимаемого мира».

Поэта вдохновило зимнее утро, и он в стихах передает его красоту:

Под голубыми небесами
Великолепными коврами,
Блестя на солнце, снег лежит;
Прозрачный лес один чернеет,
И ель сквозь иней зеленеет,
И речка подо льдом блестит.

Художник, покоренный могуществом сил революции, отражает ее по-своему: он изображает ее смелой и сильной богиней, зовущей народ к подвигу.

Вечевой колокол, звучавший на Руси «во дни торжеств и бед народных» — толчок к сочинению оратории, призывающей народ на борьбу с иноземцами.

«Описания чувственно воспринимаемого мира» — именно так называют ученые сокровища мировой литературы и искусства наряду с другими, менее блестящими «представителями» этой категории.

Ученые стараются разобраться в особенностях «метода» описания окружающей нас действительности. Стараются разобраться беспристрастно и скрупулезно с благородной целью узнать, как, какими средствами этот мир чувств отражает для людей картину жизни, природы — отражает реальность.

И что же они узнали? К каким выводам пришли?

Считают, что среди прочих описаний реальной жизни наиболее гибким, чутким, богатым оттенками является словесное описание. Действительно, чего только не опишешь словами, какие только нюансы не придашь сказанному, как только не расскажешь об увиденном!

Писатель увидел море. Оно поразило его какой-то необычностью в эту минуту, чем-то отличимым от вчерашнего, бывшего — своей индивидуальностью. И он написал: «Море смеялось»; он так воспринял его.

Но в словесном описании, кроме гибкости, много субъективного, личного. Только он, Горький, увидел, что «море смеялось». И уж так ли достоверно, именно достоверно, утверждение, что оно смеялось?

Да, говорят ученые, словесное описание гибко, богато оттенками, но субъективно и отличается «невысокой степенью достоверности».

Есть другой, совершенно противоположный подход к описанию картины жизни, картины природы — тогда отбрасывается и цвет моря, и игра красок при перекате волн, и пена прибоя на берегу. Тогда море описывается знаками химических элементов (то, из чего оно состоит) и физическими уравнениями, учитывающими силу удара волн.

●

ЭТУ ОСОБЕННОСТЬ НАУЧНОГО ПОДХОДА ОТМЕЧАЮТ САМИ УЧЕНЫЕ, говоря, что наука пишет увлекательную повесть о сокровенных тайнах природы не на красочном языке, вызывающем живые ассоциации и яркие образы, а на своем языке, где все индивидуальное, субъективное приносится в жертву абстрактному, объективному, общему.

Каждый из вас, наверное, обращал внимание на только что выстроенный дом. Этаж поднимается за этажом, одинаковые лестничные марши, одинаково идущие коридоры, одинаковое расположение дверей в квартиры, одинаково распланированные квартиры, находящиеся одна над другой — четкость, общность, одинаковость.

Но вот в дом въехали жильцы. Они устраиваются на новоселье каждый по-своему, и квартиры-близнецы — от первого до последнего этажа — утрачивают одинаковость: разная обстановка делает квартиры индивидуальными, наделяет их только им присущими чертами.

Грубо говоря, наука изучает именно сам «дом» природы, его «незаселенный вариант» — только те общие закономерности, те объективные его черты, которые и объединяют для нас разные предметы в единые классы и группы.

Сухие и строгие схемы, графики, чертежи, формулы, таблицы, уравнения, символы помогают «оголять» существенные черты действительного мира, описывать «конструкцию» реальной жизни, отмечать взаимосвязи в природе.

Очень точно разницу между научным методом познания жизни и методом познания, свойственным искусству, определяют следующие слова: если искусство заставляет нас плакать и смеяться, то наука — понимать и вычислять.

Художник, композитор, поэт говорят нам о цветах и звуках. Ученый «закрывает глаза» на красоту красок и переливы звуков. Он в цветах и звуках выделяет их основные характеристики, только то, что делает цвета цветом, а звуки звуком, —

ученый сводит и цвет и звук к определенным длинам электромагнитных волн и исследует их законы.

Как же наука познает природу? Какие методы она применяет? Какими инструментами пользуется?

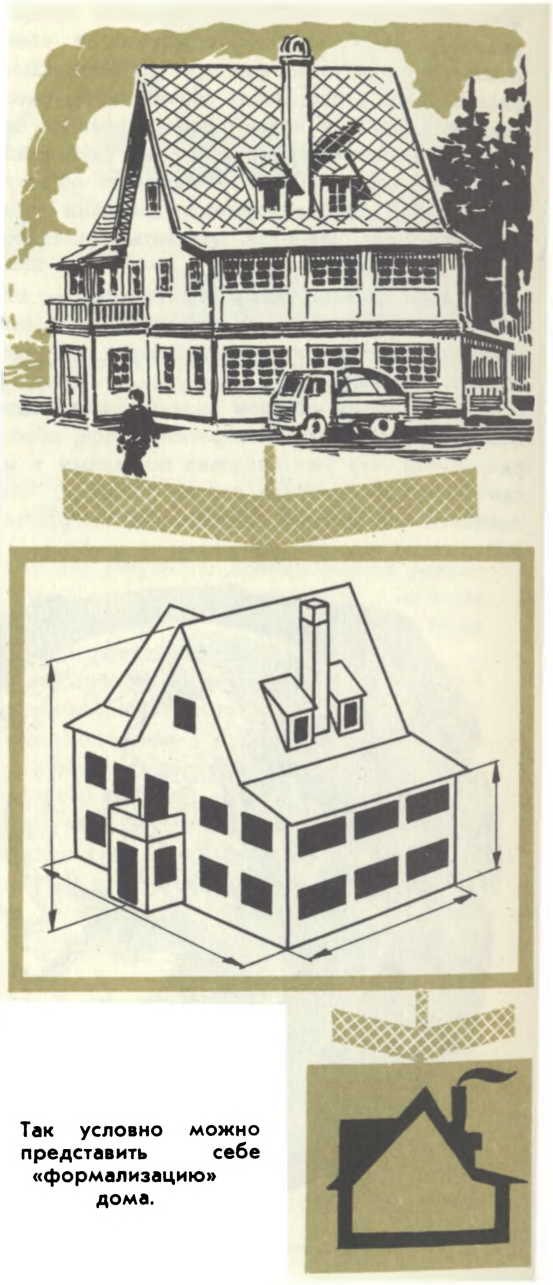
Для этого есть целый арсенал средств подходов к явлениям действительности.

Вспомните, как вам на уроках биологии не раз приходилось слышать такие слова учителя: «Завтра мы перейдем к другой теме. Будем изучать строение (допустим) черного таракана» (или бабочки-шелкопряда, или нервную систему лягушки). Не важен пример, важно то, что здесь мы имеем дело с логическим методом отождествления: «изучение черного таракана», а не черных тараканов с их многообразием окраски, возможно, разной длиной усиков или другими какими-либо индивидуальными признаками. Иными словами, вы будете выделять главное, для всех общее, объективное, не обращая внимания на частности.

Есть другие подходы. Например, идеализация, когда ученые рассматривают общие, существенные черты и свойства, построив для себя идеальные варианты изучаемых объектов. Для этого придуманы и «абсолютно черное тело», и «абсолютно твердое тело», и «идеальный газ», и «абсолютно гладкая поверхность», и «несжимаемая жидкость», и многое другое.

А вот выписка из сугубо специального научного труда — «Избранных работ по кристаллофизике и кристаллографии» Ю. Ф. Вульфа:

«Действительная поверхность Земли, с ее бесконечным чередованием возвышений и понижений,



Так условно можно представить себе «формализацию» дома.

весьма неправильна. Чтобы получить представление о форме Земли, изучают не реальную, а некоторую теоретическую поверхность, внося в понятие о фигуре Земли элемент отвлечения от существующих на Земле неровностей, т. е. рассматривая ее с достаточно значительного расстояния, на котором эти неровности теряются. Подобный прием вполне оправдан тем, что радиус Земли по сравнению с самыми высокими горами и самыми глубокими океаническими впадинами очень велик и наличие гор и впадин не нарушает общего «математического вида планеты».

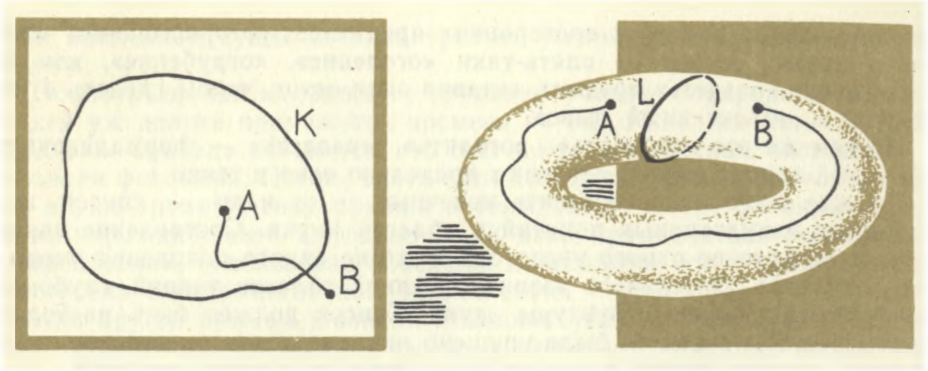
Научное познание прибегает к таким упрощениям, чтобы выявить «жесткие черты изучаемого предмета, уточнить его свойства, очертить его контур, узнать его «конструкцию».

Иными словами, какой бы принцип — отождествление, идеализация, упрощение, абстракция и т. д. — ни был положен в основу метода познания, всегда, как вы, конечно, заметили, идет «огрубление», «оголение», «заострение», выделение главного, общего, основного.

Добыв таким образом знания, ученые идут дальше. Закономерности, обнаруженные ими, уточняются, конкретизируются, обобщаются, ложатся основой научной теории — тем, что уже признано познанным в мире. Вот что по этому поводу говорят сами ученые: «Научная теория считается точной, строгой, если ее содержательные элементы (абстракция, идеализация, отождествление, понятие и т. п.) уточнены в такой степени, что они допускают в применении к ним единообразных правил оперирo-



Чтобы получить представление о форме Земли, изучают не реальную, а некоторую теоретическую поверхность.



Если провести замкнутую линию L на поверхности тора (бублика или спасательного круга), то она не обязательно делит эту поверхность на внутреннюю и внешнюю части.

вания, то есть правил, отличающихся формальным характером. Поэтому процесс уточнения, приводящий к возможности такого оперирования, можно назвать процессом формализации».

Иными словами — это процесс, а также его результат, преобразующий какую-то научную область так, что в ней нет нужды обращаться к наглядности, к помощи самих органов чувств или их продолжений — инструментов. Тем более, что довольно часто наглядно-чувственный метод подводит, дает ошибочное представление.

Таково, например, чувственно-наглядное определение нигде себя не пересекающей замкнутой линии, двигаясь по которой мы вернемся к исходной точке, не проходя ни разу дважды одно и то же место. Чувственно-наглядно очевидно, что такая линия K разбивает поверхность (плоскость или шаровую поверхность) на две части: внутреннюю и внешнюю. Имеются такие точки A и такие точки B, что их нельзя соединить линией иначе, как пересекая линию K. Однако, оказывается, наглядность нас подводит. Второе определение не равнозначно первому. Оно относится не только к замкнутой линии, но и включает в себя особое свойство той поверхности, на которой линия K проведена. Ведь если провести замкнутую линию L (по первому определению) на поверхности тора (бублика или спасательного круга), то она не обязательно делит эту поверхность на внутреннюю и внешнюю части.

Там, где утвердилась формализация, нет места неопределенности, двусмысленности. В формализованной науке возможно максимальное обобщение, возможно оперировать понятиями автоматически.

Всегда и везде, что бы мы ни формализовали, что бы ни подвергали формализации, суть этого процесса сводится к выявлению «жесткого существа дела», без которого не может быть построена научная теория.

Вспомните наш пример со зданием. Так вот, формализация — это

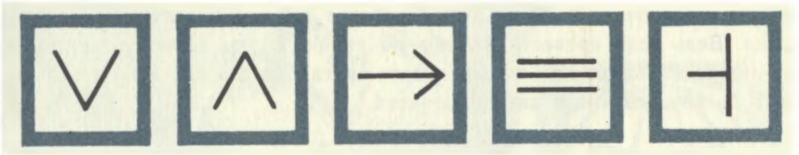
«освобождение дома» от посторонних предметов, «отбрасывание» мебели и других вещей — опять-таки «оголение», «огрубение», как бы стремление «раздеть» предмет, оставив один остов, чтобы сделать о нем точный и объективный вывод.

Но как же это «огрубить», «оголить», «раздеть» — формализовать? На такой вопрос ученые отвечают предельно ясно и точно.

Прежде всего надо составить конечный — от и до — список всех исходных элементарных понятий в области науки. Составление такого списка — дело не одного ученого и даже не одного поколения ученых: это результат длительного развития данной области знаний, глубокого логического анализа структуры науки. Список должен быть настолько полным, чтобы в нем не было упущено никакое основное понятие, и настолько точным, чтобы в нем не было никаких лишних понятий.

Но это еще далеко не все. Для процесса формализации необходимо построить и конечную — тоже от и до — систему аксиом. Ее составляют из предложений, куда исходные понятия из списка входят в качестве определений, но не наглядных, а в виде символов. Например, Евклид, описывая точку, говорил: «Точка — это то, что не имеет частей», это наглядное определение. Аксиомы же от нее отказываются: они просто предложения-формулы.

Система аксиом, в свою очередь, подчиняется строгим требованиям. Прежде всего это требование непротиворечивости. Аксиома всегда утверждает, что $1=1$ отнюдь не $0=1$. Второе требование — требование полноты. Это значит, что любое высказывание должно быть либо обязательно доказано, либо опровергнуто. Затем нужна разрешимость, то есть должен существовать метод, позволяющий установить: доказывается ли предложение, высказанное в системе, или нет. Наконец, независимость — в системе не должно быть лишних аксиом, выводящихся из других аксиом этой системы. И обязательное требование — указать систему логических правил вывода.



Из языка символов.

Все, о чем мы говорили, должно быть выражено, записано, сказано на особом языке символов.

То, что призвана выявить формализация — «жесткое существо дела», — вещь почти всегда довольно капризная, ускользающая из рук, трудно нащупываемая. Но это еще полбеды. Даже будто бы и выявлен-

ное, найденное, существо дела требует уточнения в процессе развития науки.

Посмотрите, как менялось со временем учение о природе света не за такой уж долгий промежуток времени — сто с лишним лет, с XVII по XIX век. Сначала считалось, что свет несут светоносные частицы — их назвали фотонами. Потом, опять-таки исходя из данных, известных науке в свое время, ученые пришли к убеждению, что не фотон, а корпускула порождает свет. И только в XIX веке, применив новейшие методы исследований, использовав новейшие достижения естествознания, была построена электромагнитная теория света.

Или другой пример. Великий немецкий ученый Иммануил Кант считал, основываясь на знаниях своего времени, что принципы химии являются чисто эмпирическими, чисто практическими, «а потому ни в малейшей мере не объясняют возможных правил химических явлений, будучи непригодны для применения математики». Кант сомневается в том, что химик сможет предсказывать ход химической реакции. А вот у современного химика по этому поводу нет никаких сомнений: специалист по физической химии, пользуясь математическими выкладками, способен точно предвычислить многие реакции.

Вот и выходит, что формализация часто вступает в противоречие с новым положением в науке, когда прежние методы формализации становятся недостаточными, «маломощными», неспособными отобразить «жесткое существо дела». На смену прежним методам приходят новые, более совершенные. Так формализация «скачет» по лестнице прогресса. Поэтому прогресс научного познания выступает и как процесс совершенствования применяемых в познании средств формализации.

Подобное положение вещей совершенно закономерно. Оно отражает суть процесса познания. Оно — своеобразная иллюстрация той закономерности в овладении знаниями о мире, о природе, о которой писал В. И. Ленин: «Человек не может охватить-отразить-отобразить природы всей, полностью, ее «непосредственной цельности», он может лишь вечно приближаться к этому, создавая абстракции, понятия, законы, научную картину мира и т. д. и т. п.».

Итак, формализация призвана выявить существо дела, заковать в жесткие «цепи» логико-математических символов все индивидуальное, неповторимое. Она как бы вырывает из действительности только то, что можно уложить в «строгие системы», «конечные списки понятий». Создается впечатление — она продукт «чистого ума» математиков.

Но такое впечатление в корне неверно: как бы ни казались формулы, символы существующими «сами по себе», формализация, оперирующая ими, всегда, везде, во всем — процесс выявления различных сторон реального мира. Формализованная наука лишь тогда имеет смысл, когда ее в конечном счете можно практически применить. Иногда разрыв во времени между формализованной теорией и ее применением бывает немалый — столетия или тысячелетия. Но практический смысл форма-

лизации всегда можно проверить. Это делает метатеория, например метаматематика. Она изучает, контролирует структуру и свойства формальных систем, подходит к ним с позиций не формальной, а вещной, содержательной науки. Не символы, а содержание — вот что интересует метаматематику.

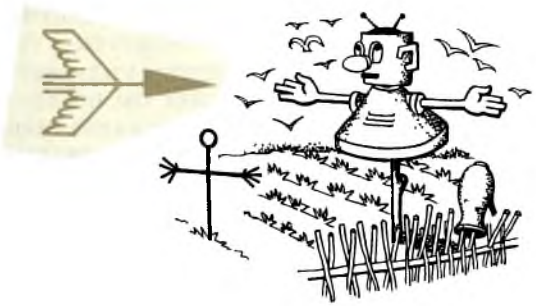
Теперь говорят об узком и широком значении слова «формализация». В узком смысле — это такое уточнение содержания изучаемых предметов, когда возможно оперировать с ними математически. А в широком смысле под формализацией понимают изучение предметов, уточнение их содержания по правилам формальной логики.

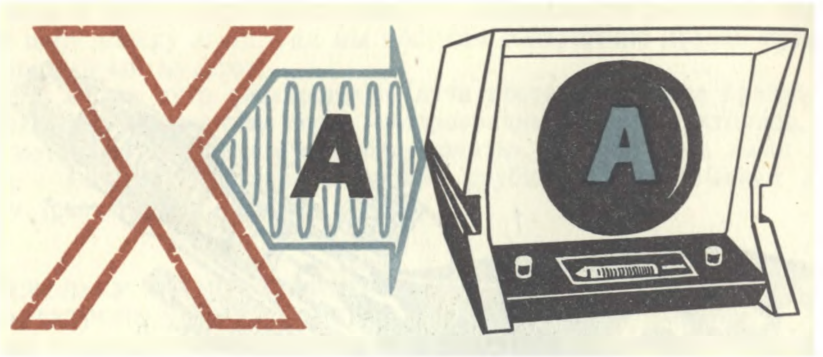
Формализация — детище конца XIX и начала XX века. Пока что она осуществлена — в узком смысле слова — в математике и математической логике и отчасти в физико-математических науках.

Некоторые же ученые считают, что «в зародыше» формализация возникла вместе с языком и мышлением. Они говорят, будто можно формализацией признать уже наделение предмета названием.

Предмет получает свое собственное название: «небо», «медведь», «камень», «вода», «гора», «еда» и т. п. Этот знаменательный процесс «наречения именем» как бы закрепляет его «выделяемость» из многих других предметов, подчеркивает его устойчивые признаки, его «жесткое существо дела».

Потом появилась письменность. Она дала человечеству великое по значению средство хранения и накопления информации. Постепенно к естественным языкам стали прибавляться знаки специальные, возникли логические формы мышления. А вот что касается такой математизированной науки, как кибернетика, то она, как это ни странно, пока не формализована. Ведь даже не существует до сих пор единого общепризнанного логического определения содержания кибернетики, нет списка ее основных понятий, нет системы аксиом — всего того, без чего нельзя формализовать науку. Но огромную роль в кибернетике играет формализация математики и логики. Именно благодаря формализации математическую логику смогли применять в электронно-вычислительных машинах, которые работают по ее законам.





ХАРАКТРОН

Электроннолучевая трубка, предназначенная для воспроизведения на светящемся экране букв, цифр и других знаков, заданных на матрице.

СВЕТОВАЯ «САМОПИСКА»

Лет 50 назад электроннолучевая трубка была уникальным прибором. Теперь же она — постоянная жительница почти каждого дома: и городского, и сельского. Трубки «живут» в наших телевизорах. Это экраны.

Конечно, таким бытовым применением сфера действия электроннолучевой трубки не ограничивается, диапазон ее профессий необычайно широк и разносторонен. Достаточно назвать, кроме телевидения, еще измерительную технику, радиолокацию, вычислительную технику, радиотехнику, автоматику, рентгенотехнику, электронную микроскопию... — везде работает этот «электронновакуумный прибор, в котором используется электронный поток в форме луча или пучка лучей».

Теперь электроннолучевых трубок целое семейство, где есть и «близкие родственники», и более дальняя «родня».

Посмотрим, как же проявляется в этом «семействе» подразделение по «линии родства», но только там, где нас это интересует.

Возьмем привычную нам электроннолучевую трубку телевизора. Эта трубка — рисующая. Иначе ее называют кинескопом. Он дает изображение с помощью изменений электронного луча.

Если на экран, покрытый светящимся составом, направить острофокусированный электронный луч — луч, бьющий «в одну точку», — и перемещать его по поверхности экрана, призвав в помощники электрическое или магнитное поле, то получится осциллограф. Он нашел широкое применение в измерительной технике.

А теперь попробуем на пути электронного луча в трубке вмонтировать несколько пластин и соединить их с системой сигнализации или управления. Потом заставим луч бегать в разных направлениях:



Семейство электроннолучевых трубок.

от катода к различным пластинам, то размыкая, то замыкая электрические цепи между ними. Так мы получим совершенно другой прибор — электронный коммутатор.

Теперь же на пути электронного луча поставим другое препятствие: пластину с изображением букв, «непрозрачных» для электронов, букв, через которые электронам «не перескочить». Опять перед нами новый прибор — электроннолучевая пишущая трубка. Ее и называют характроном, светящимся пером.

ПОСКОЛЬКУ ИМЕННО ХАРАКТРОН НАС ИНТЕРЕСУЕТ БОЛЬШЕ ОСТАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОННОЛУЧЕВЫХ ТРУБОК, познакомимся с ним подробнее.

Итак, в характроне на пути электронного луча надо поставить металлическую пластину с набором букв, цифр и любых других знаков — ее называют матрицей, а знаки — трафаретами. Чтобы знаки-трафареты записались на экране трубки, ее надо снабдить еще несколькими важными «узлами»: системами, образующими, собирающими и управляющими электронным лучом. Такими системами в характроне



Характрон — световая «самописка».

служит электронный прожектор — «поставщик электронов», система для выбора знаков на матрице и система адресная.

Прожектор отбрасывает на катод изображение всех знаков на матрице. Но не все сразу они бывают нужны в каждом конкретном случае. Поэтому включается в работу система выбора. Она выбирает нужный трафарет и проводит его через диафрагму. Однако потом знак «висел бы в воздухе», не знал бы своего места на экране, если бы ему на помощь не поспешила адресная система: она как бы «берет знак за руку» и ставит на отведенное ему место на экране.

Затем изображение на экране исчезает. Появляется новая запись. Но можно сделать так, что изображение ненадолго задержится на экране, тогда его можно прочитать или сфотографировать скоростной камерой. Здесь все зависит от назначения характрона. Исчезновение знаков — специалисты называют его послесвечением — может быть и коротким, всего 10—20 микросекунд (*мксек*), или длительным — 5—10 *сек*.

В характронах знаки на экранах бывают очень маленькими — 2—5 *мм*. Но при необходимости их можно сделать и побольше. Для этого в некоторых приборах устанавливают специальную линзу, которая с помощью электрического напряжения может увеличивать размеры знаков.

Экран же в записывающих электроннолучевых трубках в общем большой: от 15 до 75 *см* по диагонали. Площадь экрана «заселена» знаками довольно плотно — там размещается до 16 тысяч букв или цифр. Скорость письма «светового пера» достигает 4 тысяч знаков в секунду.

Характроны получили большое распространение в электронно-вычислительной технике. В основном их используют в вычислительных машинах для вывода данных. Это ведь очень удобно — получать быстро и наглядно результаты «машинных трудов». Такой характрон выступает в роли выходного печатающего устройства. Скорость по выбору данных — цифровой и буквенной информации — убедительно говорит в его пользу: 25 тысяч знаков в секунду!

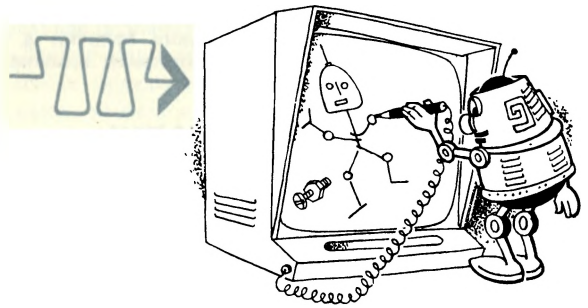
Что же тут хорошего? — можете вы удивиться. Не успеешь и глазом моргнуть, как все эти 25 тысяч знаков исчезнут, чтобы уступить место следующим 25 тысячам! И так каждую секунду... Как с ними управиться? Очень просто: в работу включается скоростная кинокамера. Она снимает показанное изображение на пленку, «консервирует» его. Эти «консервы информации» — буквы и цифры — хранятся столько времени, сколько потом понадобится для работы со всеми полученными данными.

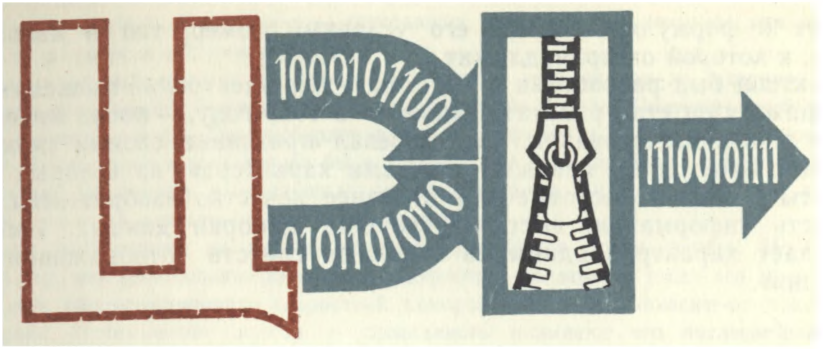
Нашел применение характрон и в некоторых системах управления. В этом случае характрон обычно соединяют с кинескопом.

В такой системе (характрон — кинескоп) на кинескопе мы увидим изображение объекта, а на характроне — как бы «овеществленные» сигналы в виде формуляров. Это своего рода «записки». Например, на экране зафиксирован определенный объект, а характрон в это время

покажет в формуляре-записке его условный номер, тип и название группы, к которой он принадлежит.

Характрон был разработан в 1941 году. А в электронно-вычислительных машинах он стал работать позже — в 1953 году, — после многих и многих усовершенствований. Он завоевал признание своими положительными качествами, ценными «чертами характера», из которых специалисты в один голос отмечают отличное качество изображения, наглядность информации, высокую скорость выборки данных. Именно это делает характрон одним из основных средств «отображения информации».





ЦИФРОВОЙ СУММАТОР

Устройство для образования суммы нескольких величин в арифметической вычислительной машине.

ЭЛЕКТРОННАЯ ЗАСТЕЖКА-«МОЛНИЯ»

Все привыкли к тому, что электронно-вычислительные машины считают с поражающей воображение быстротой. Удивляются, пожалуй, лишь тому, что считают-то машины, проводя даже самые сложные вычисления, чрезвычайно «примитивно». Машина любую задачу «умудряется» представить вереницей простейших действий на сложение. Ведя свой головокружительно быстрый счет, электронная машина попросту молниеносно складывает числа! Сложение чисел — вот ее основная операция.

Поэтому главной составной частью арифметического устройства машины бесспорно является сумматор.

Познакомимся с работой одного из типов этого устройства.

Все вы знаете застежку-«молнию». Раскрытая, она состоит из двух ленточек, окаймленных металлическими зубчиками. Чтобы закрыть застежку, надо зубчики сцепить, скрепить их друг с другом. Для этого существует специальный замок-движок. Он-то, движок «молнии», и напоминает сумматор.

Подобно раздельным сторонам застежки, в сумматор с одного конца через два входа «вливаются» числа-слагаемые, с другого конца они выходят крепко-накрепко скрепленными в сумму.

По двум каналам спешат в сумматор двоичные числа, закодированные электрическими импульсами. Есть единица в разряде — пробегает импульс, нуль в разряде — импульс не появляется.

Строго говоря, устройство, с которым мы познакомились, — это не полный сумматор, его называют полусумматором, поскольку он производит только половину работы по сложению: он сложил слагаемые, вошедшие в него через два входа, и получил сумму. Полный же сумма-

тор обычно имеет три входа для трех потоков: для первого и второго слагаемого и для переноса чисел в другой разряд. Сложение в сумматоре ведется по разрядам.

На каждый из трех входов подается по одному разряду двоичного числа, а на выходе из сумматора появляются разряды суммы и переноса.

СУЩЕСТВУЕТ МНОГО ТИПОВ СУММАТОРОВ, НО ВСЕ ОНИ ПОДРАЗДЕЛЯЮТСЯ НА ДВЕ ГРУППЫ: ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО И ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ. Именно сумматор последовательного действия работает по разрядам. Попробуем и мы сложить какие-либо числа.

На схеме (стр. 298) видно, как на вход поступил импульс. Мы знаем, что это соответствует единице — 1 — низшему разряду первого слагаемого. У второго слагаемого в низшем разряде 0, значит, импульс не поступит.

В разделе «Логика математическая» мы можем узнать, как работают схемы НЕ и И. Поэтому можем определить, что импульс не пройдет через схемы совпадений, а его пропустят схемы несовпадений. Будет показана сумма: 1+0=1.

Когда на оба входа поступят импульсы одновременно, то есть складывать нужно сразу две единицы, то схема несовпадений откажется пропускать импульсы, а схема совпадений сработает и даст на выходе импульс. В результате будет показана сумма: 1+1=0 и перенос в следующий разряд. Таких действий в секунду сумматор производит до миллиона.

Но, оказывается, есть сумматоры, которые работают еще быстрее, — это сумматоры параллельного действия. Они суммируют числа не постепенно, а сразу по всем разрядам, и импульсам-числам не надо «стоять в очереди», чтобы попасть в сумматор. В параллельном сумматоре складываемые числа находятся в регистрах и там складываются в одноразрядных сумматорах 1, 2, 3, 4... В каждом из них три входа — два для подачи чисел, один для переноса в другой разряд.

Сложим два числа:

$$\begin{array}{r} 0101 \\ +\,0011 \\ \hline 1000 \end{array}$$

В первый одноразрядный сумматор поступят две единицы: они дадут нуль и перенос единицы в следующий разряд. Во втором сумматоре уже будут нуль и две единицы. Они тоже дадут нуль и перенос единицы в третий сумматор. Здесь уже будут единица, нуль и единица. Снова это даст нуль и перенос единицы в четвертый сумматор. В нем нуль, нуль, единица. Складываем их и получаем единицу. Переноса в следующий разряд нет.

Так мы и получили сумму: 1000 — цифру «восемь», записанную в двоичной системе.

Даже по сравнению с «миллионной» скоростью последовательного сумматора сложение в таком сумматоре поражает: например, девятнадцатиразрядное число складывается за какие-то доли микросекунды!

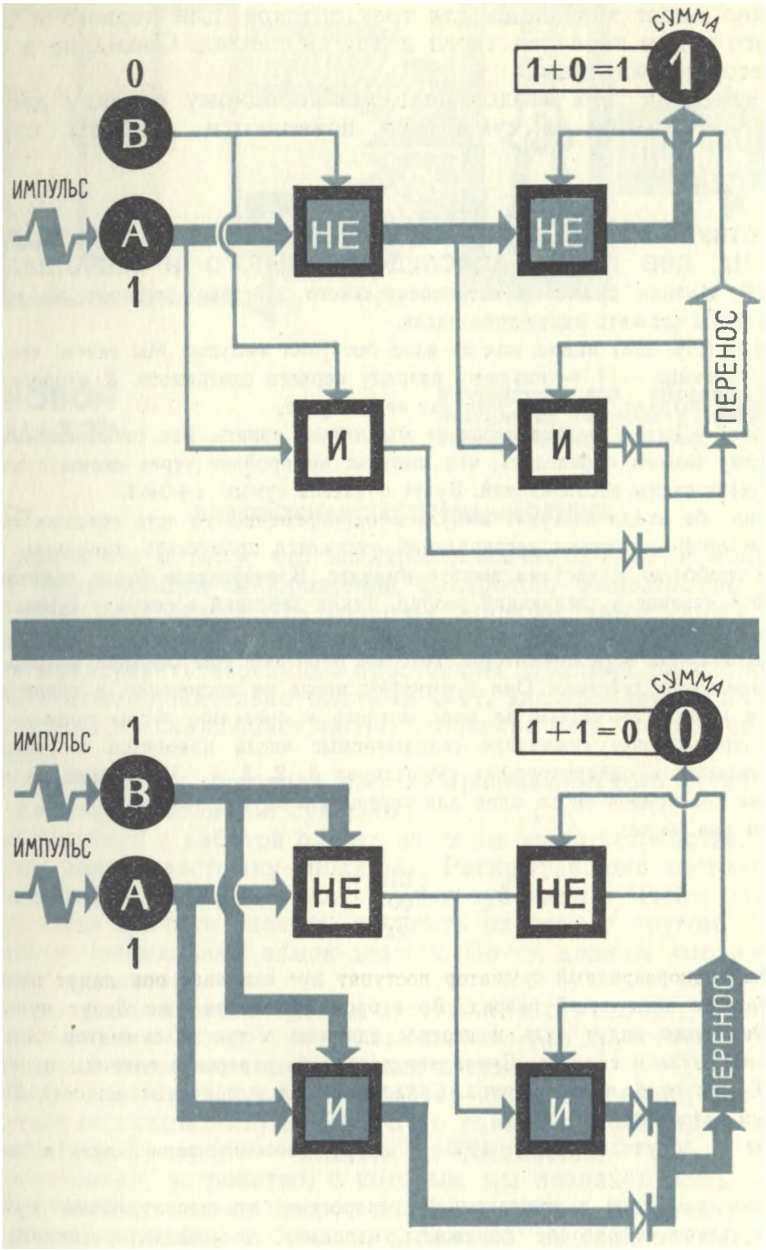
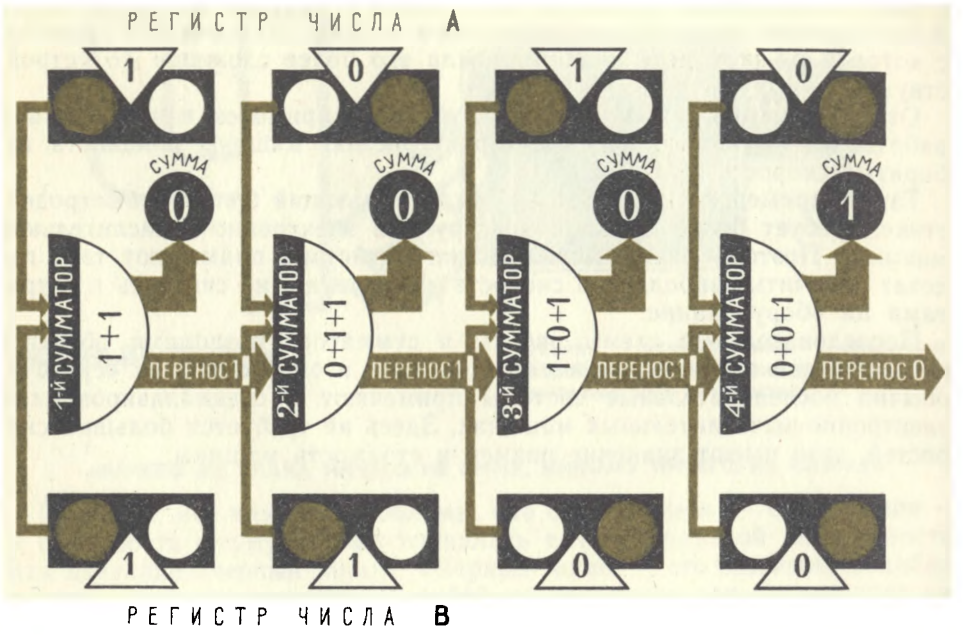


Схема работы последовательного сумматора.



Работа параллельного сумматора.

И последовательные и параллельные сумматоры подразделяются еще и по «линии поведения». Они бывают комбинационными — когда сумма сразу же при снятии одного из слагаемых исчезает и накапливающими — когда сумма сохраняется и после исчезновения сигналов.

Надо признаться, что рассмотренные нами схемы сумматоров, их устройство и принципы действия для большей доходчивости весьма упрощены. Бесспорно, что настоящие сумматоры, работающие в арифметических устройствах электронно-вычислительных машин, намного сложнее, намного «запутаннее». Но если отбросить все тонкости, все частности, все особенности — иными словами, если «оголить» принципы построения и порядок работы сумматоров, то эти устройства в своей основе предстанут перед нами именно такими, как в рассмотренных примерах.

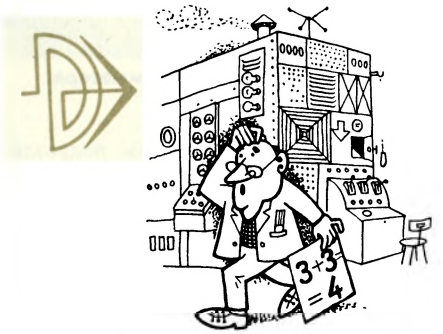
Ученые, освоив очень разные «характеры» последовательного и параллельного сумматоров, нашли им и применение в зависимости от их «характеров», учитывая в каждом случае их достоинства и недостатки.

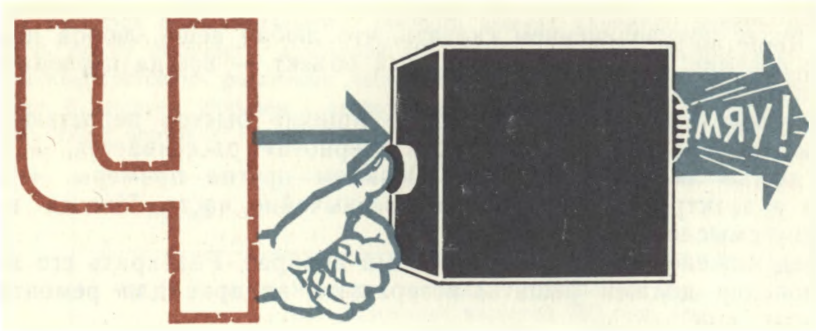
Последовательный сумматор более прост — в этом его достоинство. А достоинство параллельного сумматора — в его скорости. Но скорость, с которой он «глотает» числа, сделала его более сложным по устройству.

От конструкции сумматора, от того, какой применен в нем принцип работы, зависят многие важные характеристики машины: мощность, габариты, скорость.

Так, например, параллельный сумматор, дающий большое быстродействие, требует более сложной конструкции электронно-вычислительной машины. Поэтому схемы параллельного действия применяют там, где хотят получить наибольшую скорость вычислений, не считаясь с затратами на оборудование.

Последовательные схемы работы в сумматоре позволяют обойтись минимальным количеством аппаратуры. Это и определило их «судьбу»: обычно последовательные системы применяют в специализированных электронно-вычислительных машинах. Здесь не требуется больших скоростей, зато имеют значение размер и стоимость машины.





«ЧЕРНЫЙ ЯЩИК»

Объект исследования, внутреннее устройство которого не принимается во внимание или неизвестно.

«НИЧЕГО НЕ ЗНАЮ, НИЧЕГО НЕ ВИЖУ, НИКОМУ НИЧЕГО НЕ СКАЖУ»

Пожалуй, нет научной проблемы, где бы ее смысл — содержание — и образность формулировки сливались в такой удачной совокупности, как название «черный ящик». «Черный ящик» — его значение в кибернетике трудно переоценить. В любой энциклопедии или справочнике рядом с этими словами обязательно стоит пояснение: «относится к числу основных понятий в кибернетике».

С этой проблемой человек сталкивается буквально с первых шагов жизни. Правда, в практической деятельности человек довольно успешно справляется с ней, не пытаясь каким-либо образом классифицировать ее, не замечая, что перед ним типичный «черный ящик».

Чтобы постепенно приблизиться ко всем сложностям затронутого вопроса, будем «наращивать» эту сложность постепенно, в хронологической, что ли, последовательности.

Едва ребенок становится на ноги, начинает передвигаться по своей кроватке, как ему сразу же хочется «вырваться в большой мир». Но сетка! Как она мешает! И тут-то перед малышом вырастает не что иное, как «черный ящик»: малыш ничего не знает об устройстве сетки, о способе ее закрепления. Ребенок дергает ее и так и этак. Выражаясь языком кибернетики, он начинает манипулировать «входами», надеясь получить на «выходе» опущенную сетку.

Такой же «черный ящик» — заводная игрушка. Дети не знают, что у нее внутри. Им известно одно: заведи — она едет. Мы скажем так: на «входе» — энергия сжатой пружины, на «выходе» — движение колес.

Иногда и обычные телевизоры, и радиоприемники выступают в роли «черных ящиков»: когда они стоят перед человеком, ничего не знающим об их устройстве. Для такого человека и телевизор, и радиоприемник известны только с двух сторон: на «входе» — электрический ток, на «выходе» — звук (для приемника) или звук и изображение (для телевизора).

Не будет преувеличением сказать, что любая вещь, любой предмет, любое явление — любой познаваемый объект — всегда первоначально выступают как «черный ящик».

В приведенных примерах «черные ящики» быстро перестают быть «черными». Накапливается опыт, и «чернота» рассеивается, исчезает.

Но всегда ли это так просто? Возьмем другие примеры. «Черный ящик» в электронике встречается чрезвычайно часто. Иногда в буквальном смысле.

Перед инженером стоит электронный аппарат. Разбирать его нельзя. Но инженер должен решить, возвращать аппарат для ремонта или выбросить его.

Такая же задача возникает перед инженером-телефонистом, когда он имеет дело с неисправной аппаратурой, которую он не имеет права разбирать без достаточных к тому причин.

А практическая деятельность врача, когда он сталкивается только с внешними проявлениями болезни, но неизвестно истинное состояние организма больного? Перед врачом задача «черного ящика».

Специалисты, изучающие теорию «черного ящика», считают, что его применение поможет справиться с огромным разнообразием задач планирования производства. Ведь даже производственное предприятие, на котором осуществляется не более десяти производственных процессов, имеет почти десять миллионов возможных планов.

Как видите, «черный ящик» — это проблема и электротехники, и электроники, и автоматического регулирования, и медицины, и экономики. Перечисление можно было бы продолжить. Правда, английский ученый У. Р. Эшби, предложивший «черный ящик» как понятие, утверждает, что его теория — попросту изучение отношения между экспериментатором и окружающей средой, когда особое внимание уделяется потоку информации.

Итак, нам известно: «черный ящик» — система, об устройстве которой мы ничего не знаем. Каким же образом можно ее обсуждать, изучать, исследовать? Метод «черного ящика» изучает систему только с одной стороны: взаимоотношение, связь между «входом» и «выходом». В этом — стремление понять поведение системы. Только поведение. Ни строение, ни материал не принимаются здесь во внимание.

Давайте обратимся с этой целью к работам «родоначальника» «черного ящика», посмотрим его описания.

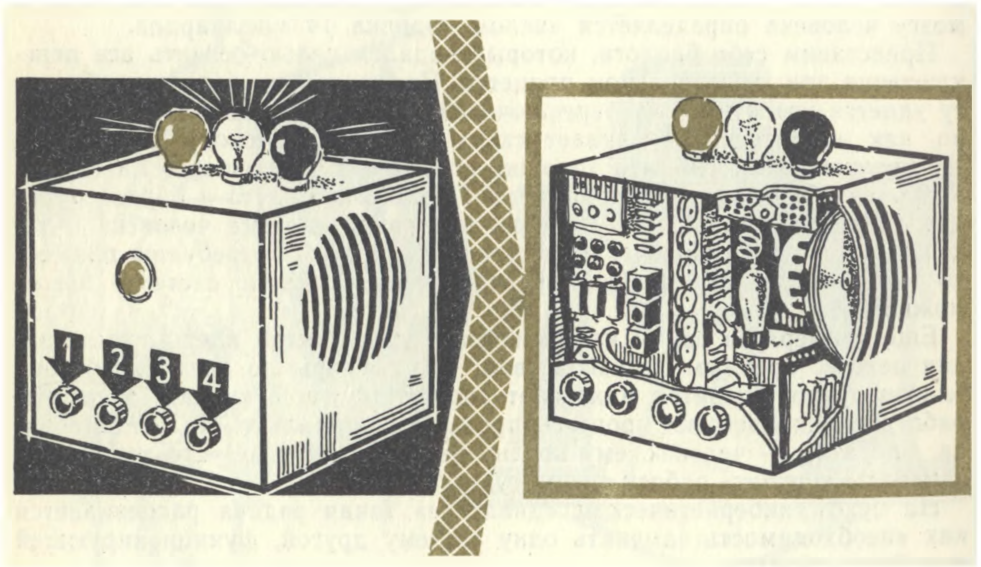
ИССЛЕДОВАНИЯ «ЧЕРНОГО ЯЩИКА» У. Р. ЭШБИ ОПИСЫВАЕТ ТАК:

Человек не может дважды вступить в один и тот же поток; так же не может дважды произвести один и тот же эксперимент. Он может лишь предпринять другой эксперимент, отличающийся от первого только тем, чем, по общему признанию, можно пренебречь.

Это относится и к исследованию «черного ящика». Основные данные всегда будут иметь форму ведомости, в которой записаны в порядке следования во времени наблюдаемые состояния различных частей «ящика» (его «входа» и его «выхода»). Например, о «ящике», упавшем с неопознанного летающего объекта, можно было бы составить такой протокол

Время	Состояние
11 *час* 18 *мин*	Я ничего не делал — ящик испустил ровное жужжание частотой 240 герц (*гц*).
11 *час* 19 *мин*	Я нажал на переключатель, помеченный буквой «К», — звук повысился до 480 *гц* и остался на этом уровне.
11 *час* 20 *мин*	Я случайно нажал на кнопку, помеченную «!», — температура ящика поднялась на 20°С.

Таким образом, каждая система исследуется в принципе путем постепенного изготовления длинного протокола, составленного в хронологическом порядке и показывающего последовательность состояния «входа» и «выхода». В результате такого



Перед вами «черный ящик». Неоднократными включениями кнопок можно заставить загораться — в различных комбинациях — лампочки и установить закономерности в связях «вход — выход», не зная, что происходит внутри «черного ящика».

протокола мы знаем, какими «входами» экспериментатор манипулирует, что происходит при этом на «выходе». Расширяя постепенно круг «вход» — «выход», экспериментатор узнает поведение своего «подопечного». И уже по мере знакомства с его поведением пытается раскрыть внутренние связи в «ящике», его структуру.

Эшби по этому поводу замечает, что экспериментатор напоминает инженера, сидящего в корабельной рубке перед набором рычагов и корабельных телеграфов, с помощью которых он может воздействовать на машины, и наблюдающего за результатами по показаниям ряда циферблатов.

Объяснения, что же такое «черный ящик», были достаточно длинными и достаточно убедительными. Но из них все-таки совершенно неясно, почему «черный ящик» одно из основных понятий кибернетики. Да потому, что в кибернетике специалисты имеют дело с системами, не поддающимися детальному описанию, их обычно называют очень б о л ь ш и м и с и с т е м а м и.

Попытаемся разобраться в этом. Опять нам помогут примеры.

Вот вам один из них — нервная система человека. Она напоминает гигантскую электрическую схему, подобную схеме радиотехнического устройства. Но разница огромная — неимоверно велики количественные различия. В состав радиотехнического устройства входят несколько сотен всевозможных переключателей. Электронные машины имеют до 100 тысяч переключающих элементов. Количество же нейронов в мозгу человека определяется числом порядка 14 миллиардов.

Представим себе биолога, который задался целью освоить все переключения при мыслительном процессе. Предположим далее, что биологу удается усвоить схему переключений нервной системы так же быстро, как радиотехник усваивает схему радиотехнического устройства. Из практики известно, что хороший специалист затрачивает на анализ схемы из 200 переключений 5 часов. Предположим, что и биолог будет анализировать схему переключений в нервной системе человека с такой же скоростью. Подсчет показывает, что на это потребуется примерно 40 тысяч лет! Детальное изучение очень большой системы невозможно.

Еще пример. На одном из химических предприятий идет автоматизация цехов с вредным производством. Все до поры до времени обстоит благополучно: оператор нажимает соответствующие кнопки, автоматы работают исправно, все процессы протекают нормально. Но вот загвоздка: оператор — человек, ему вредно быть в этом цехе! Его тоже надо заменить, поручить работу автомату.

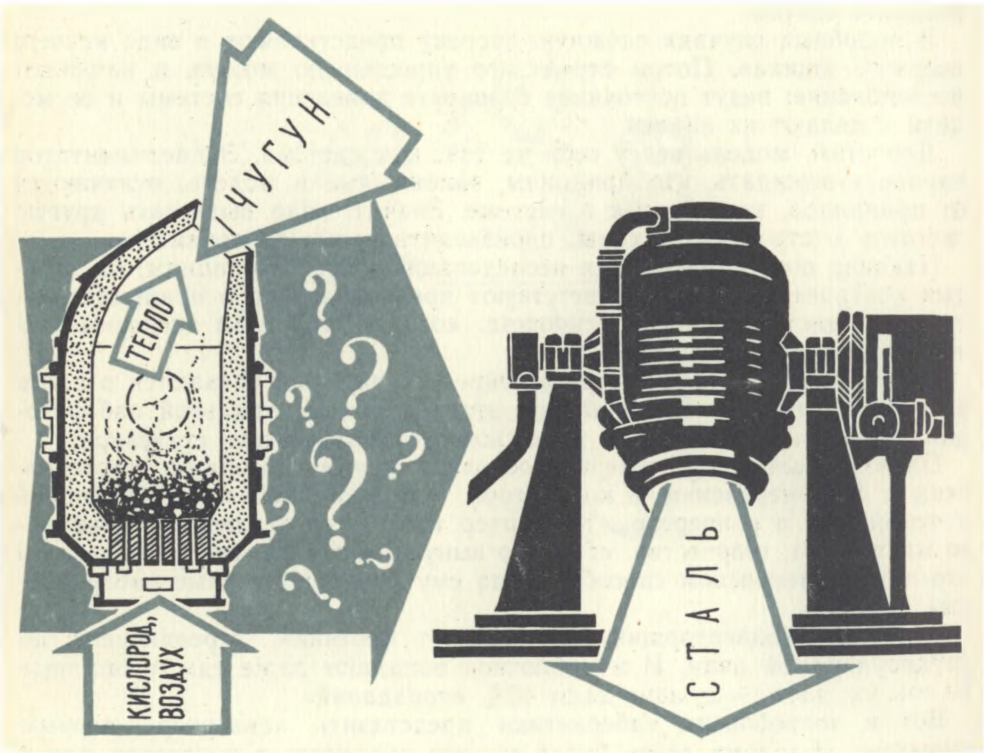
На сухом кибернетическом «диалекте» такая задача расценивается как «необходимость заменить одну систему другой, функционирующей подобным образом».

Здесь-то и вступает в бой «черный ящик». Мы знаем, что какая-то не спроектированная пока система должна делать все, что делает человек-

оператор. Мы отбрасываем, как человек производит свои действия, принимаем во внимание только то, что он делает («вход») и что его действия дают («выход»). Мы рассматриваем действия человека-оператора как «черный ящик» и строим его модель. Причем и сам «ящик», и его «воспроизведение в электронике» описываются одними и теми же математическими формулами.

Здесь мы, как видите, опять имеем дело с очень большой системой. Подчас подобные системы настолько сложны, что хотя и есть полная информация о состоянии их отдельных элементов, но элементов так много, что трудно эту информацию «согласовать» и «увязать» в единое целое, чтобы можно было судить о поведении всей системы. Человек, исследователь, просто не в состоянии с ней «сладить»: он или «утопает» в этой информации, или не может ее воспринять.

Какой отсюда вывод? А вывод не один — разные. Об одном из них очень наглядно говорит кибернетик Эшби. Если бы инженеру при строительстве моста пришлось рассматривать каждый атом строительного материала, то он нашел бы задачу невыполнимой уже в силу ее вели-



Конвертор, с точки зрения кибернетиков, — «черный ящик».

чины. Поэтому строитель игнорирует тот факт, что балки и блоки действительно сложены из атомов. Он рассматривает балки и блоки как неделимые единицы, потому что их природа допускает это упрощение, и задача инженера становится практически выполнимой.

Но всегда ли возможны упрощения? Далеко не всегда.

Когда психиатр пытается проникнуть в тайну больного мозга, он имеет дело с очень большой системой. И система эта требует весьма деликатного подхода к упрощениям. Они не всегда допустимы, они могут исказить истинную картину заболевания.

Когда экономист ведет свои сложные расчеты на предприятии, то цены на сырье, количество рабочей силы, цена изделия, затраты труда, потребительский спрос «тонут» в океане «мелочей», которые экономист должен учитывать. С какой осторожностью приходится ему подходить к упрощениям, взвешивая их в расчетах, как на аптекарских весах! И такие примеры буквально неисчислимы.

Поэтому при изучении очень больших систем «черный ящик» незаменим. Он — волшебный ключ практического метода, которым можно воспользоваться для управления невообразимым многообразием очень больших систем.

В подобных случаях сложную систему представляют в виде некоего «черного ящика». Потом строят его упрощенную модель и начинают исследование: ведут постоянное сравнение поведения системы и ее модели и делают их анализ.

Допустим, модель ведет себя не так, как система. Экспериментатор вправе утверждать, что принципы, заложенные в модель, отличаются от принципов, заложенных в системе. Значит, надо выдвигать другую гипотезу о строении системы, производить новые эксперименты.

Наконец после длительных исследований удача! Принципы, на которых построена модель, соответствуют предположению о принципах построения системы. Значит, гипотеза, которую выдвигал экспериментатор, подтверждена.

Посмотрим, как такие теоретические рассуждения одеваются в плоть и кровь на практике в начальном этапе работ Центральной лаборатории автоматики, создающей надежного автоматического сталевара.

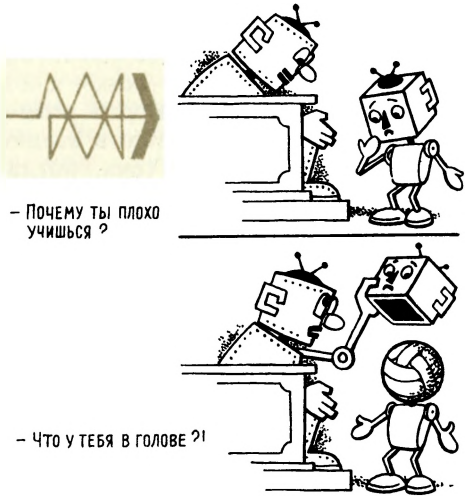
Плавку стали ведут теперь в основном двумя способами: мартеновским и бессемеровским, в конверторе. Мартеновский заслужил любовь и признание, а конвертор... Конвертор требует от сталевара подлинного мастерства, творчества: сталевар вынужден все делать чутьем, не то что при мартеновском способе, когда ему помогают точные лабораторные анализы.

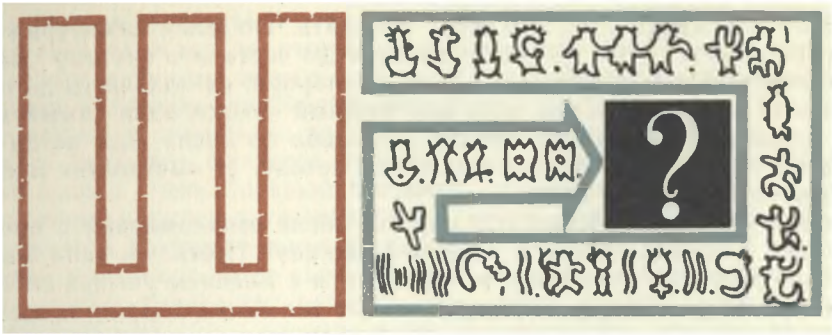
Сталевары-конверторщики напоминают охотника, стреляющего по трудноуловимой цели. И в «яблочко» попадают даже самые опытные не так уж часто — лучшие дают 40% «попаданий».

Вот и попробовали кибернетики представить конвертор «черным ящиком». «Входом» здесь будет то, что засыпают в конвертор перед

плавкой, «выходом» — то, что хотят получить. Что делается внутри «ящика», сбрасывается пока со счета. Затем надо составить систему уравнений баланса тепла, нужного углерода, кислорода, их количеств до плавки и после нее: узнают, как получить нужный «вход», зная самый хороший, оптимальный «выход». Теперь «стрельба по цели» идет не на глазок, а по определенному рассчитанному методу. И «меткость» попаданий повысилась почти вдвое.

К какому же заключению пришли мы после ознакомления с проблемой очень больших систем и «черного ящика»? Пожалуй, если мы хорошенько над этим подумаем, то согласимся с мнением ученых-кибернетиков, что открытия науки обнаруживают все более возрастающее количество разнообразия, все более расширяющиеся его границы и все более важные детали. В то же время в результате открытий науки широкие классы явлений сводятся ко все меньшему классу принципов, получающих все более общее значение.





ШИФРОВАНИЕ

Система передачи сообщения, где смысл сообщения скрывается с помощью шифра.

«ТАЙНА, ПОКРЫТАЯ МРАКОМ»

Вспомним приключения ребят — героев повести «Кортик» Н. Рыбакова. Вспомним таинственные знаки на пластинке кортика, принадлежавшего некогда морскому офицеру. Через сколько испытаний и приключений прошли герои повести, чтобы прочитать криптограмму — зашифрованную надпись! И только ножны — ключ к шифровке, — найденные в результате длительных поисков, помогли ребятам решить задачу.

К шифрованию прибегают довольно часто: в военном деле, на дипломатической службе — вообще в тех случаях, когда нужно сохранить в тайне содержание переписки или устного сообщения.

Шифрами пользовались и революционеры-подпольщики, вынужденные вести переписку так, чтобы царские жандармы не могли ее читать.

Шифров существует множество. Есть и чисто профессиональные: шифр простой подстановки, дробные, так называемые диаграммные, триграммные и п-граммные, шифры Виженера с различными вариантами, шифр Плэйфер, разнообразные типы кодов.

А ни на что не похожий шифр, который удалось прочитать Шерлоку Холмсу в рассказе «Пляшущие человечки»? Его заинтересовали странные записки с пляшущими человечками.

Знаменитый сыщик сразу понял, что перед ним шифр, и начал искать ключ. Вскоре ключ был найден, и Шерлок Холмс, разгадав значение каждой фигурки-буквы, прочитал странные записки. Мало того, тем же самым шифром он написал письмо преступнику, и преступник попал в руки правосудия.

На стр. 310 показана шифрованная запись, которую предлагается расшифровать вам. Посмотрите, что там написано. Вы можете просидеть над записью годы, перепробовать миллиарды комбинаций, но, если не знаете ключа, никогда не прочтете.

Чтобы превратиться в опытного дешифровальщика, вам в данном случае придется вооружиться бумагой и ножницами.

На листе нарисуйте 64 шахматные клетки. Точно по рисунку вырежьте отверстия. Получится решетка.

Наложите ее цифрой *1* вверх на беспорядочно написанные буквы квадрата. Посмотрите, в отверстиях появился текст: *электронная вычис...* Теперь поверните решетку по часовой стрелке на четверть оборота. Получите следующую часть фразы: *...лительная машина р...* Еще такой же поворот: *...ешает сложные мате...* И, наконец, еще поворот: *...матические задачи.*

Решетка при подобном шифре служит ключом к прочтению записи. В любой тайнописи, в любом шифре обычно есть только одно-единственное правильное решение, один-единственный ключ, который и стараются сохранить в секрете. Даже когда сообщение, не предназначенное для чужих глаз и ушей, попадает в руки противника, оно безмолвствует, если нет к нему ключа.

Вообще-то в принципе любая система шифрования может быть решена простым перебором всех возможных в каждом конкретном случае ключей. Но перебирать придется до тех пор, пока не отыщется опять-таки тот единственный ключ, который и поможет тайнописи заговорить.

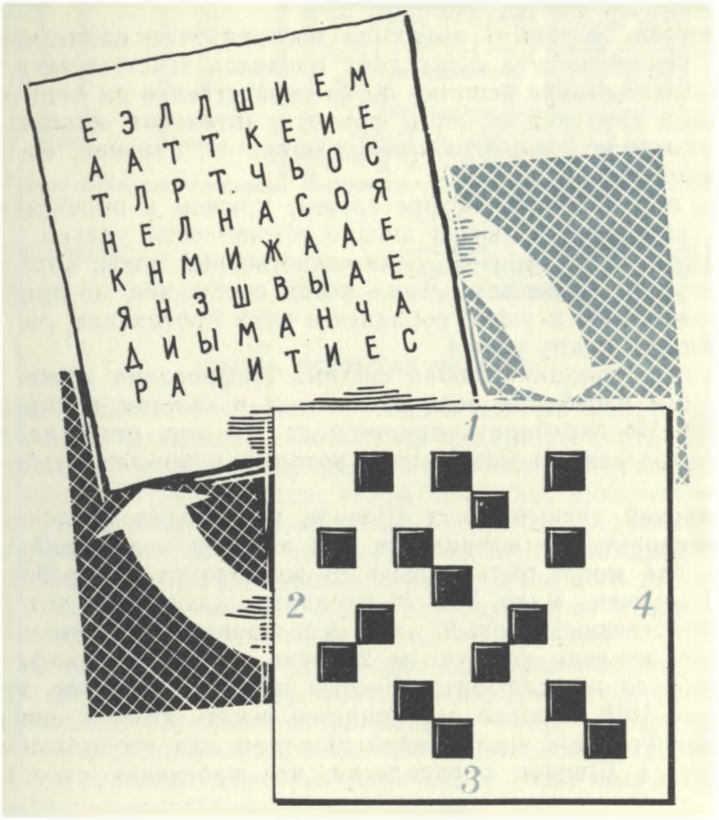
Американский ученый Клод Шеннон производил по этому поводу весьма красноречивые вычисления. Он задался целью найти ключ к шифровке, где могут быть только 26 возможностей перебора ключа. Только 26 — очень мало. Эти 26 вариантов ключей, из которых только один-единственный верный, надо использовать при помощи простой подстановки, заменяя каждую из 26 букв английского алфавита другой буквой того же алфавита. Ученый получил довольно внушительное число — 10^{12}! Столько лет придется искать ключ к шифру.

И это при условии, чрезвычайно льготном для воображаемого противника: когда Шеннон предполагал, что противник сконструировал



«Пляшущие человечки» — шифр, разгаданный Шерлоком Холмсом.

электронное устройство для испытаний ключей, работающее со скоростью один ключ в одну микросекунду. Верный ключ противник выберет примерно после половины всех возможных испытаний!



С помощью этой решетки вы прочтете, что здесь написано.

Вот вам наглядное доказательство, какой гигантский разрыв существует между «решением проблемы дешифровки с помощью перебора ключей в принципе» и ее практическим использованием.

К ШИФРОВАНИЮ, К КРИПТОГРАФИИ ТЕПЕРЬ ПЫТАЮТСЯ ПОДОЙТИ ВО ВСЕОРУЖИИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА. Тот же американский кибернетик Клод Шеннон для этой цели попытался даже разработать схему общей секретной системы. Действительно, каким бы шифром ни пользовались, какую бы систему шифрования ни применяли, принципиально система выглядит совершенно одинаково.

Всегда есть два конца в системе: передающий и принимающий. На передающем конце всегда два источника информации: первый — источник сообщения, то, что надо передать. Второй — источник ключей, тот, кто говорит, в каком ключе надо вести шифрование, выбирая один конкретный ключ из всех ключей данной системы. Этими двумя источниками пользуется шифровальщик, переводящий сообщение в криптограмму.

Готовая криптограмма передается по каналу связи. Каналы связи могут быть самые разные: и посыльный, и почта, и телеграф, и радио... На приемном конце другой шифровальщик с помощью ключа восстанавливает по криптограмме сообщение, расшифровывает его.

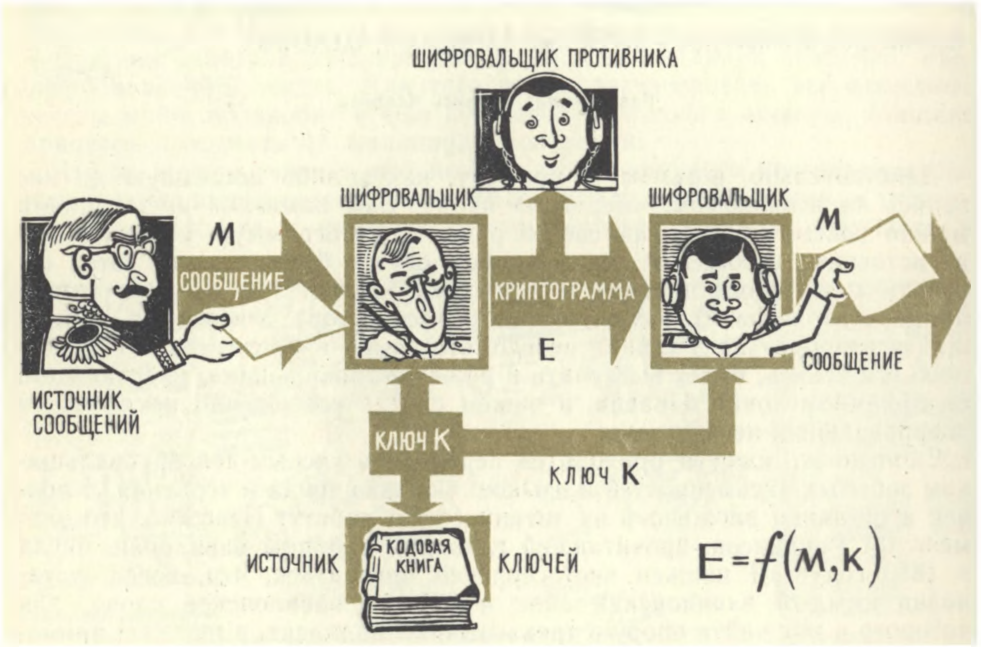


Схема общей секретной системы и ее формула.

Естественно предположить, что противник безусловно будет стараться перехватить сообщение. Поэтому на шифровку во время ее прохождения по каналу связи будет действовать еще один фактор — шифровальщик противника.

Такова в общих чертах схема секретной системы, предложенная Шенноном.

Если вглядеться в эту схему повнимательнее, вы придете к заключению, что границы ее намного шире, чем секретная система в «чистом» виде.



Вавилонская надпись Ксеркса.

Действительно, возьмем, к примеру, какую-либо дошедшую до нас запись на незнакомом, «мертвом» языке. Сам памятник письменности можно рассматривать как своего рода «криптограмму», составленную из источника сообщения (им в данном случае будет то, что хотел передать автор этого письма) и источника ключей (им будет в нашем примере тот алфавит, которым пользовался автор). Ученый же, пытающийся разобраться в тайнах неведомого языка и прочитать интересующую его запись, будет выступать в роли шифровальщика, работающего на приемном конце. Правда, в нашем случае совершенно исключается шифровальщик-перехватчик.

Сколько же ключей приходится перебирать ученым-дешифровальщикам забытых письменностей и языков! Сколько труда и терпения, а подчас и отчаяния вложено в их титаническую работу! Известно, что знаменитый Раулинсон, прочитавший глиняные таблицы вавилонян, писал в 1850 году: «Я должен чистосердечно признаться, что, когда, установив каждый вавилонский знак и каждое вавилонское слово, для которого я мог найти опору в трехъязычных надписях, я пытался применить приобретенные сведения для интерпретации ассирийских надписей, я неоднократно испытывал искушение раз и навсегда прекратить свои изыскания, ибо совершенно отчаивался достигнуть когда-либо хоть сколько-нибудь удовлетворительного результата».

Не день, не год — годы понадобились, чтобы стала понятной вавилонская надпись Ксеркса: «Ксеркс, царь великий, царь царей, сын Дария, царя, Ахеменид».

А не попробовать ли для дешифровки древних рукописей применить электронно-вычислительные машины? Здесь очень помог бы статистический метод. Суть его состоит в том, что ученые должны точно знать, какие знаки встречаются в непрочтенных рукописях и закономерности их появления. Например, в древнеегипетском письме встречается до

800 различных иероглифов, в хеттском — около 500. В слоговых системах языка звуков насчитывается от 50 до 80. Обычно в европейских языках около 30 звуков. В полинезийском всего 10—12, а в некоторых кавказских 70—80 звуков.

Так, в опытах, которые были проведены в Новосибирске по расшифровке письменности майя, сразу установили, что письмена майя не могут быть ни чисто иероглифическими, ни чисто алфавитными. В письменах 340 знаков: такого количества «не выдержит» никакой алфавит. С другой стороны, 340 знаков для иероглифического письма слишком мало.

Вообще при расшифровке текстов майя были применены семь методов. И каждый был нужен: он либо подтверждал результаты, либо их отвергал.

Два дня работала машина. Она проделала миллиард операций. Расшифровала 40% текста. Для того чтобы расшифровать все известные тексты майя, понадобится еще 200 часов машинного времени. Машине придется проделать 11 миллиардов операций.

Что ж, можно считать, что первый шаг машинного прочтения забытых письменностей сделан. Остается надеяться: придет время, и ученые-дешифровальщики с помощью математической системы тайнописи и



Новосибирские ученые при расшифровке письменности майя применили электронно-вычислительные машины.

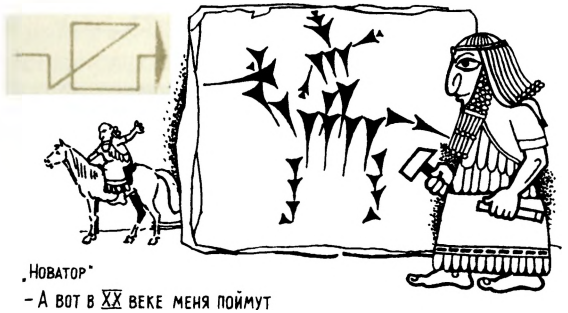
электронно-вычислительных устройств заставят заговорить еще не одну, пока «немую», древнюю запись. И эти «мертвые», «забытые» письменности расскажут ищущим знаний людям о народах давнопрошедших веков, об их быте, культуре, жизни.

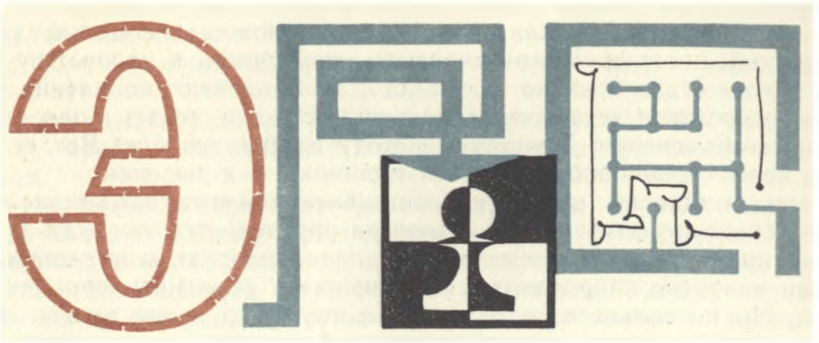
И надежды на это — не просто надежды. Они покоятся на достаточно твердом основании: советским специалистом М. А. Пробстом разработан машинный алгоритм для дешифровки забытой письменности.

По этому алгоритму пробовали уже работать. Разбирали, в частности, контрольные тексты — те, которые были прочитаны, но даны в качестве «экзаменационного билета» вычислительной машине. Что ж, экзамен был выдержан, и неплохо. Машина, руководствуясь своими «правилами к действию», «грамотно» разобралась даже в небольших текстах, которые очень трудны для дешифровки.

С помощью этого машинного алгоритма была проведена и работа самостоятельная. Электронно-вычислительной машине поручили «разобраться» в неразгаданных текстах XI—XII веков, найденных на территории современной Монголии — киданьских письменах. Работы, проводившиеся ранее, предположительно относили киданьскую письменность к тюркским или тунгусо-монгольским языкам. Машина, «проглотив» обширные тексты и изучив языковые закономерности, подтвердила, что язык некогда могущественного государства киданей близок к монгольскому.

Что ж, скажем в «добрый путь» машине-дешифровальщику, пожелаем, чтобы больше было побед на ее счету. Потому что дешифровку исторических систем письма специалисты рассматривают как частную задачу в общей проблеме, названной ими «проблемой формального исследования языка».





ЭВРИСТИКА

Наука, исследующая закономерности творческой деятельности.

ПОЧЕМУ ТАК, А НЕ ЭТАК!

Нетрудно догадаться, название науки эвристики происходит от всемирно известного восклицания Архимеда: «Эврика!» — «Нашел!»

Что изучает эта наука, каков предмет ее исследований?

Она изучает творческую деятельность. Когда говорят о человеке творческом, имеют в виду, что он создает свое, отличное от других: сочиняет симфонии, пишет поэмы, рисует картины, ставит научные эксперименты, делает изобретения.

Однако такое понимание творчества хотя и бесспорно, но ограниченно. Ведь и врач, назначающий лечение больному, решает творческую задачу. Следователь, распутывающий преступление, выступает как личность творческая. Токарь, задумавший изменить, улучшить резец для своего станка, ставит вопрос творчески.

Значит, под творческой деятельностью надо понимать такую разновидность мышления, которая дает человеку новую систему действий: заставляет поступать по-новому; открывает человеку неизвестные ранее закономерности в окружающем его мире; заставляет узнавать новое, чтобы это новое использовать, реализовать.

Эвристика пытается проникнуть в тайну творчества, узнать «технологические особенности» творческого процесса, понять его закономерности.

Исподволь, постепенно подходили люди к познанию творчества, или, как называют специалисты, эвристической деятельности. Прежде думали, что никаких методов не существует, что человек творит по наитию, по вдохновению.

Но, познавая законы мышления, люди начали выяснять и основы творчества, старались проложить первые пути, ведущие к объяснению этого интересного и сложного явления.

Сначала ученые считали, что в голове рождается целый хоровод ассоциаций, которые и характеризуют способность к творчеству.

Но вскоре стало понятно: ассоциации не объясняют появления новых, ранее совершенно неизвестных решений. Начали искать более полные и точные объяснения. Пришли к методу проб и ошибок. Вот его сущность: через серию проб, преодолевая ошибки, — к решению.

Потом появилось еще одно направление — «гештальд-психология». В ней поведение, деятельность человека определяется тем, как, в каком «свете» видит он связь элементов в задаче, которую надо решить.

Были и другие направления, стремившиеся объяснить природу творчества. Но не только каждое в отдельности, но и все вместе они не давали ясной картины этой удивительной способности человека.

Естественно, что с появлением кибернетики к пониманию творчества стали подходить и с кибернетических позиций.

Вот главное, что заинтересовало кибернетиков: что такое мышление, в чем именно заключается специфика творческих форм работы мозга, как мозг выдает новые решения.

Здесь в первую очередь помогли электронные вычислительные машины. Они позволили начать изучение эвристической деятельности с помощью моделей. Среди них особое место занимают шахматы. Для кибернетиков они воистину «пробный камень» моделирования мышления. Ведь шахматная игра ставит человека перед множеством и условий, и возможностей: при шахматной игре на 64 клетках доски возникает гигантское, трудно вообразимое число комбинаций фигур — $2 \cdot 10^{116}$.

Игру в шахматы кибернетики рассматривают как лабиринт, в котором каждая позиция представляет собой площадку лабиринта.

Но для чего нужно из шахмат делать лабиринт?

Вспомним сначала веселую историю, случившуюся с Гаррисом, попавшим в Хемптон-кортский лабиринт в книге Джерома Джерома «Трое в одной лодке».

«Мы только зайдем сюда, чтобы ты мог сказать, что побывал в лабиринте, но это совсем несложно. Мы походим здесь минут десять, а потом отправимся завтракать», — уговаривал Гаррис родственника.

Но — увы! — он не только заблудился сам, но и запутал людей, которых взялся избавить от мучительного блуждания по лабиринту. Следуя своей тактике, Гаррис все время поворачивал направо. Время шло, а предводительствуемая им компания безуспешно искала выход из лабиринта все утро. Даже при изменении тактики — они уже поворачивали в любую сторону — все пути приводили в центр. Это стало повторяться с такой правильностью, что некоторые просто оставались на месте и ждали, пока остальные прогуляются и вернутся к ним.

Бедняга Гаррис не знал, блуждая от площадки к площадке лабиринта, что его хождения — проявление творческого метода проб и ошибок. И если перебрать все возможные пути «вход — выход», задача будет решена. Но все упирается во время, которым располагает попавший в

лабиринт. И, уж конечно, уйдет более десяти минут, выделенных для этой цели Гаррисом.

Итак, если перебрать варианты путей «вход — выход», задача будет решена.

А теперь попробуйте «перебрать» лабиринт из $2 \cdot 10^{116}$ площадок! Поэтому «пробные» возможности шахмат для кибернетиков и привлекательны.

Конечно, человек перебирает не все варианты, он пользуется какими-то другими способами, чтобы сократить путь к решению.

В настоящее время кибернетики хотят преодолеть простой перебор вариантов, приблизиться к творческому решению задачи человеком. Они пытаются осуществить это с помощью эвристического программирования. Само название отражает существо нового метода: в основу машинных программ было положено изучение процесса решения задач — эвристической деятельности — у людей.

Его авторы говорят, что задача, которую они ставят перед собой, «обусловлена главным образом желанием понять сущность сложных преобразований, обеспечивающих эффективное решение проблем... Мы хотели понять, например, как математик приходит к доказательству теоремы, несмотря на то что вначале он не знает, как решать поставленную задачу, и ему неизвестно вообще, сможет ли он ее решить».

Главное в эвристической программе — стратегия поиска решений. В процессе выполнения программы машина по результатам промежуточных пробных действий как бы «судит» о своей деятельности, дополнительно собирает необходимую ей информацию.

Эвристические программы не рассматривают вариантов бесперспективного поиска, а ищут решение только в том направлении, где оно возможно.

ВОТ СХЕМА ЛАБИРИНТА И ЕГО ПЛОЩАДОК С помощью этого лабиринта мы познакомимся с одной из эвристических программ, названной «Универсальный решатель проблем».

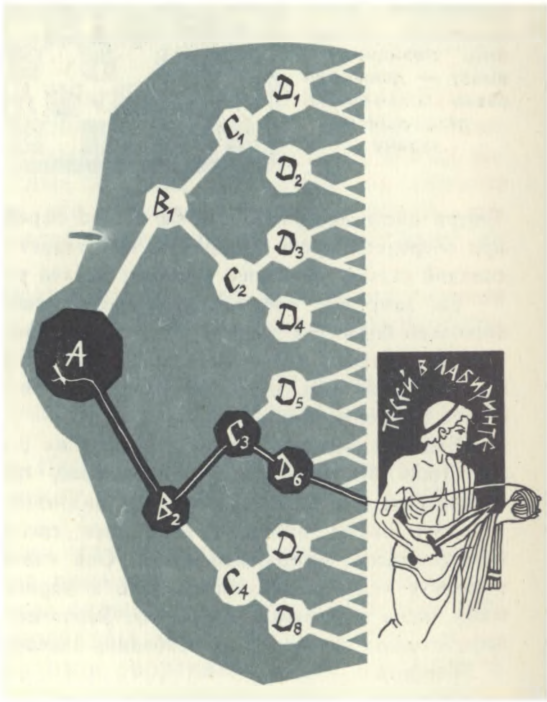
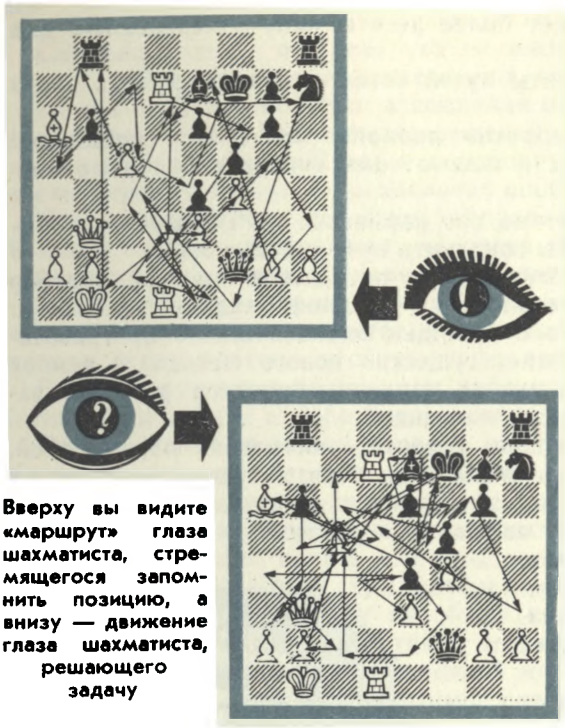


Схема лабиринта и его площадок.



Вверху вы видите «маршрут» глаза шахматиста, стремящегося запомнить позицию, а внизу — движение глаза шахматиста, решающего задачу

Если бы задачу выхода из лабиринта решали по программе перебора, машина обследовала бы все варианты — даже заведомо нелепые — «хождения» по площадкам в поисках выхода. Эвристическая программа включает в себя и элемент случайности, случайного попадания на «выгодную» площадку.

Для сокращения перебора площадок — путей в лабиринте — в «Универсальный решатель проблем» включены конечная площадка лабиринт-задачи и расстояние до этой конечной площадки.

Машина начинает работать по программе, перебирая варианты с исходной площадки. Перебор идет до тех пор, пока программа не попадет на площадку, которая ближе всего к конечной. У нас на схеме такой площадкой будет B_2. Затем снова перебор и снова скачок — еще ближе к конечной площадке. Теперь наша программа на C_3. Снова перебор, снова скачок. Так до тех пор, пока при очередной пробе программа не попадет на конечную площадку — D_6. Итак, последний скачок увенчался успехом: задача решена.

Вы заметили, что «Универсальный решатель проблем» раскладывает задачу на несколько более простых? В этом его особенность.

Но обратили ли вы внимание, что при всем отличии эвристических программ от простых программ перебора перебор и в «Универсальном решателе» продолжает играть большую роль.

Выходит, машина может «сражаться» с подобными задачами только потому, что она очень быстро работает. А человек, «работающий» много медленнее (в сотни, тысячи раз), успешно справляется с задачами «шахматного характера».

Этот вывод позволил некоторым специалистам усомниться в непогрешимости эвристического программирования. Они считают, что творчество, эвристическую деятельность человека нельзя сводить к эвристическому программированию, сокращающему число возможных вариантов. Вероятнее думать, что при решении задач человек вырабатывает стратегию на основании совершенно другого процесса.

Какого?

Обратимся опять к шахматам. Здесь развитую позицию можно принять за начальную площадку шахматного лабиринта, а мат — за площадку конечную. Тогда,

оказывается, и начальных, и конечных площадок в шахматных партиях множество, а от каждой начальной к каждой конечной так много путей, что приходится сталкиваться опять-таки с гигантскими числами при переборе вариантов.

Интересные эксперименты с шахматами были поставлены в Институте психологии Академии педагогических наук. Они дают возможность предположить, что в основе эвристической деятельности человека лежит построение модели ситуации. Глядя, например, на сложную шахматную позицию, человек отбирает из всех фигур только те, между которыми надо устанавливать связь. Этим он сразу отбрасывает множество ходов, сокращая «блуждания по лабиринту». Таким образом, человек формирует стратегию поведения через моделирование отдельных элементов задачи, приходя к ситуации — единому целому. Иными словами, все дело в том, как человек видит всю проблему и отдельные ее элементы.

Правда, пока и эвристическое программирование не раскрыло полностью механизмов творческой деятельности человека. Но огромный шаг на этом пути сделан: новые принципы программирования выдвинули идею исследования механизмов работы мозга на новом, промежуточном уровне — уровне информационных процессов. Тогда можно будет связать переработку информации с физиологией мозга. Думают, что этот метод сравним с разложением в химии сложных химических соединений на простые элементы.

Огромное значение эвристическое программирование и эвристика в целом имеет и для развития электронных автоматов. До эвристического программирования электронно-вычислительные машины могли решать задачи, «упакованные» в тесные и узкие «объемы» — строгое математическое описание. Теперь же появляется возможность решать задачи, которые этого строгого математического описания не имеют.

У современных электронно-вычислительных машин, с точки зрения эвристики, много недостатков: они и прямолинейны, и несообразительны, и негибки, и неумны, и... очень много еще таких «и».

Эвристические программы как раз и нащупывают пути, как сделать машину понятливой, ориентирующейся в неожиданной ситуации, умной.

Именно с этой целью в 1966—1967 годах проходил знаменитый «электронный» шахматный матч между советской и американской машинами.

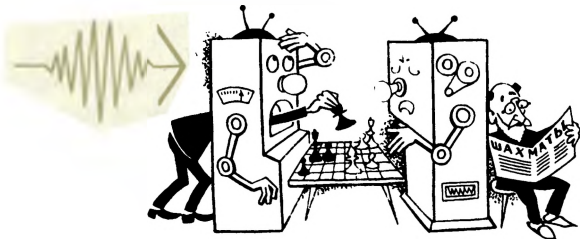
Американские математики во всех партиях применяли одну эвристическую программу. Наши ученые применили две: одну более упрощенную, другую, по их мнению, более сильную. Так оказалось и в действительности. Вторая советская программа выиграла.

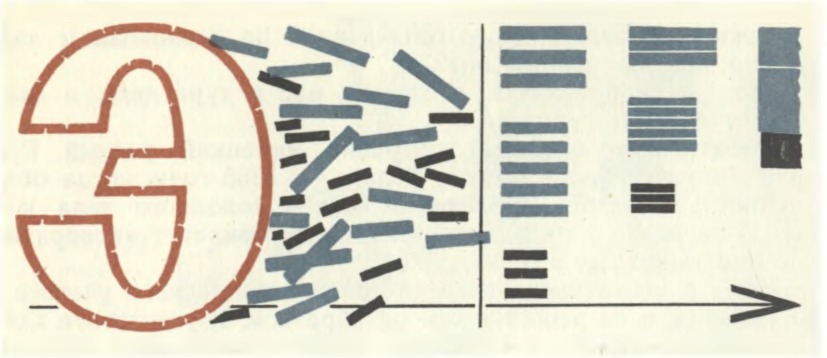
Этот матч сразу же носил не характер спортивной игры, спортивной борьбы, а сравнения научных идей. Как часто бывает в практике кибернетиков, они на шахматах пробовали принципы эвристического про-

граммирования, которые важны для расширения возможностей вычислительных машин в самой широкой сфере их применения.

Возьмем современный вычислительный центр. Даже на таком высокоавтоматизированном предприятии многие подготовительные операции выполняются «вручную». Эвристическое программирование позволит покончить с этим. Появится реальная возможность перейти от автоматизации отдельных участков умственного труда к его комплексной автоматизации.

Специалисты считают, что применение эвристических программ в медицине, на транспорте, в освоении космоса, в физиологии и нейрофизиологии, в управлении производством и во многих других важнейших областях науки и техники может дать огромный эффект.





ЭНТРОПИЯ

В теории информации это мера неопределенности ситуации (случайная величина).

«ДЕМОН» ОТКРЫВАЕТ ДВЕРИ

Приготовьтесь сразу к тому, что вам придется запастись терпением. Да, да. Чтобы разобраться в вопросе об энтропии, понадобится прежде всего терпение, потому что не сразу вы уловите все оттенки и «цвета» нового понятия. И не удивляйтесь такому положению: ученые еще по многим деталям в вопросах об энтропии не пришли к полному согласию, к тому состоянию, которое называется единомыслием.

Вот высказывания видных ученых, признанных авторитетом в данном вопросе, пробующих с разных точек зрения рассказать простыми «человеческими» словами, что же за орешек они пытаются раскусить.

«Реальная ценность понятия энтропии определяется в первую очередь тем, что выражаемая им «степень неопределенности» опытов сказывается во многих случаях именно той характеристикой, которая играет роль в разнообразных процессах, встречающихся в природе и технике и так или иначе связанных с передачей или хранением каких-либо сообщений». Это одно утверждение.

А теперь обратите внимание на другое:

«Чтобы понять, что такое энтропия в теории информации, лучше выкинуть из головы все, что хоть как-нибудь связано с понятием энтропия, применяемым в физике».

О трудностях понятия энтропии и проблемы энтропии (и в физике, и в теории информации) говорит третье высказывание:

«Движение в этих областях напоминает движение в джунглях, полных ловушек. Наиболее знакомые с этим предметом обычно наиболее осторожны в разговорах о нем».

Обратим внимание: ученые в один голос подчеркивают неразрывную связь энтропии с теорией информации. А это очень важно, ибо теория информации признана мощным средством исследования и служит са-

мым надежным проводником в блужданиях по сложнейшим лабиринтам во многих современных науках.

Это своего рода присказка, вводящая нас в курс дела, а сказка — что такое энтропия — впереди.

Слово «энтропия» впервые употребил немецкий ученый Рудольф Клаузиус немногим более 100 лет назад — в 1865 году, когда объяснял невозможность перехода теплоты от более холодного тела к более теплому. В переводе с греческого «энтропия» означает «поворачиваюсь внутрь», то есть «ухожу в себя».

Этот «уход в себя» очень заинтересовал австрийского ученого Людвига Больцмана, и он решил в нем разобраться. В результате глубоких работ ученого появилось в 1872 году такое истолкование энтропии.

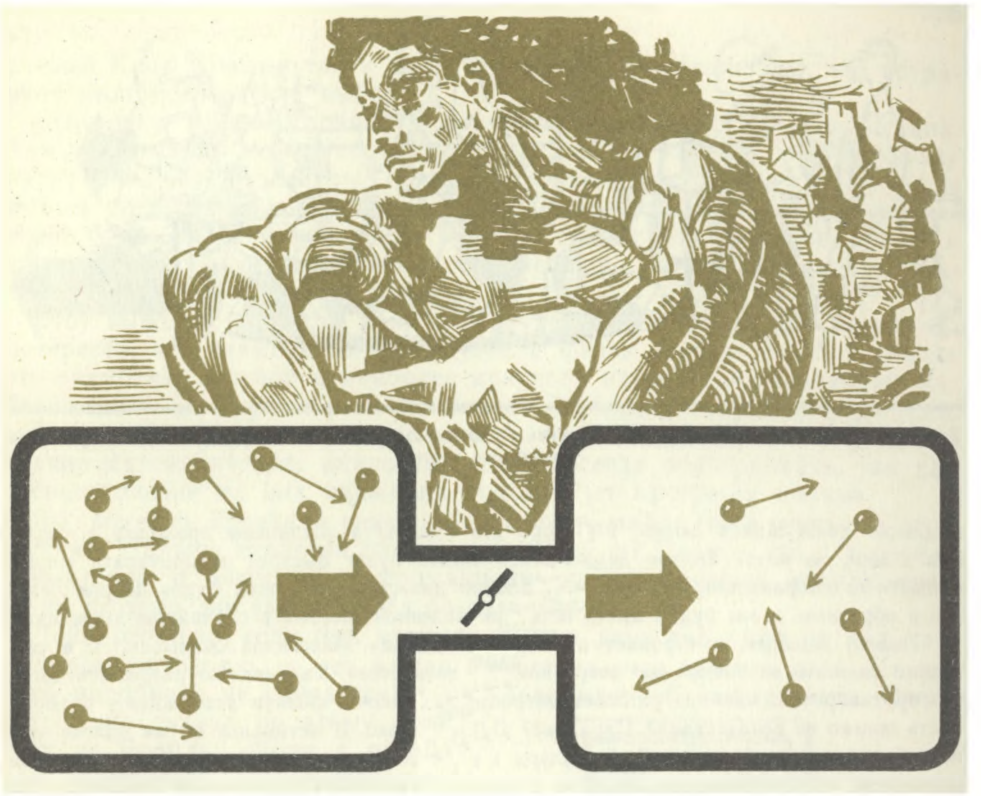
Представим себе какую-либо систему, например газ, заключенный в сосуд. Что ее в данном случае характеризует? Определенный объем, давление, температура — то, что принято называть макросостоянием. А чем оно вызвано? Микросостояниями: положением и скоростью частиц в тот или иной момент. В некоторый момент состояние одно, в другой — другое, в третий — третье, и т. д. Иными словами, система из многих состояний выбирает одно. Какое? Это и доказал Больцман: система стремится к неорганизованности, стремится увеличить свою энтропию. Вместе с тем — это общепризнанно — система стремится к равновесию, «ищет» свое самое вероятное состояние. Значит, когда говорят, что энтропия системы возрастает, говорят попросту о том, что система стремится к равновесию? Совершенно верно. Действительно, когда газ находится в равновесии, как бы ни сновали в определенном объеме газа молекулы, как бы ни «дрались» между собой, количество молекул, их скорости движения будут всегда где-то «в середине», всегда близки какой-то средней величине. Тогда энтропия тела, характеризующая его состояние, будет наибольшей. Значит, говорит Больцман, энтропия связана с вероятностью микросостояния тела.

Разобраться в новом для нас понятии поможет нам и «демон» Максвелла — пример, ставший классическим.



«ДЕМОН» ЗНАМЕНИТОГО АНГЛИЙСКОГО УЧЕНОГО МАКСВЕЛЛА поселился не в одном десятке научных и научно-популярных книг. Суть «демона» в них, естественно, одна и та же, только выражена разными словами. Чтобы не пересказывать этот пример еще раз, возьмем его «в готовом виде» — так, как описал его «отец кибернетики» Норберт Винер:

«Предположим, что в резервуаре находится газ, температура которого везде одна и та же, и что некоторые молекулы этого газа будут двигаться быстрее, чем другие. Предположим далее, что в резервуаре имеется маленькая дверца, через которую газ поступает в ведущую к тепловому двигателю трубу, и что выпускное отверстие этого теплового двигателя при помощи другой трубы соединено через другую дверцу с газовой камерой. У каждой дверцы находится маленькое существо — «демон», —

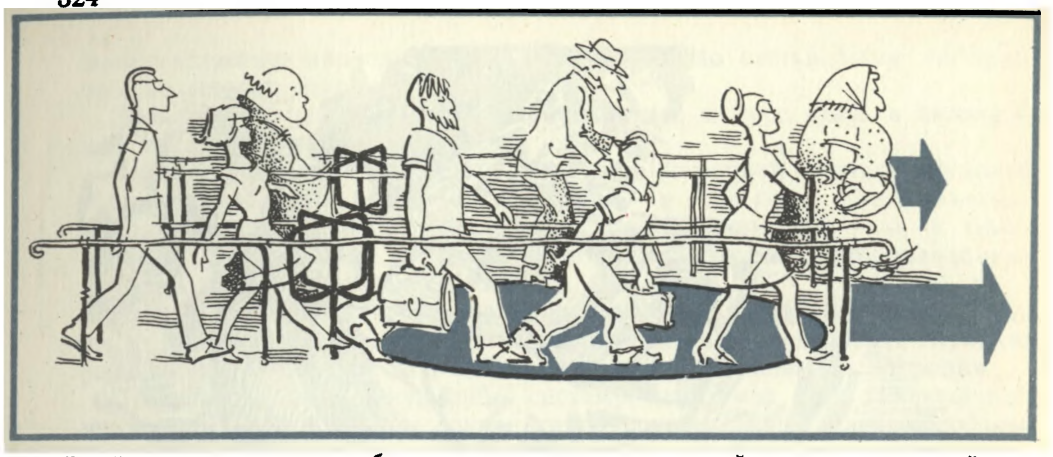


Упрощенная схема «Демона» Максвелла. Молекулы с длинными стрелками движутся с большей скоростью.

наблюдающее за приближающимися молекулами и открывающее или закрывающее дверцу в зависимости от движения молекул.

В первую дверцу «демон» пропускает выходящие из резервуара молекулы только с высокой скоростью движения и не пропускает молекул с низкой скоростью. У второй дверцы роль этого «демона» совершенно противоположна: он открывает дверцу только для молекул, выходящих из резервуара с малой скоростью, и не пропускает молекул с большой скоростью. В результате этого на одном конце резервуара температура повышается, на другом конце понижается». Чтобы упростить понимание примера Максвелла с «демоном», Винер предлагает свою аналогию:

«Возможно, мне еще удастся несколько пояснить эту идею на примере толпы, пробивающейся в метрополитен через два турникета, один из которых пропускает людей, если они движутся довольно быстро, а другой — если они движутся медленно. Случайное движение людей в метрополитене предстанет как поток людей, быстро движущихся от первого турникета, в то время как второй турникет пропускает только



Такой топчак в метро мог бы служить источником полезной энергии при случайном движении толпы.

медленно движущихся людей. Если оба эти турникета соединены проходом с топчаком в нем, то поток быстро движущихся людей будет быстрее поворачивать топчак в каком-то направлении, чем поток медленно движущихся людей будет поворачивать его в обратном, и мы будем иметь источник полезной энергии в случайном движении».

Иными словами, и турникет в метро, и «демон» Максвелла оказываются в состоянии снижать энтропию «во вверенном им хозяйстве». Так как же разрешить тогда это противоречие: «демон» снижает энтропию, а законы физики утверждают возможность только ее возрастания? Парадокс? Да, парадокс. И оставался он им долгое время, пока венгерский физик Л. Сциллард не опубликовал работу под сугубо научным названием: «Об уменьшении энтропии в термодинамической системе при вмешательстве мыслящего существа». Здесь ученый снова обращается к «демону» Максвелла.

Чем же он интересен? Прежде всего тем, что «демон» может действовать только в случае, когда он для своей работы — открывания и закрывания дверей то для быстрых, то для медленных молекул — будет получать дополнительную энергию. Только затрачивая эту энергию, «демон» держит взаперти своих «подопечных»: быстрые молекулы в одной стороне, медленные — в другой. Иными словами, только тогда удается «демону» снизить энтропию системы. Но на что же именно тратит этот деятельный «демон» полученную энергию? На «организаторскую деятельность», расплачиваясь энергией за информацию, за знание, куда каким молекулам идти, отвечает Сциллард и доказывает это. Доказательство ученого чрезмерно трудное и специальное. Приводить его здесь не имеет смысла. Поверим так, тем более что выводы Сциллларда признаны учеными во всем мире.

Итак, мы получили вывод о связи информации и энтропии. Очень важный вывод, ибо отсюда вытекает положение, что информация находится в обратной зависимости от энтропии. Знаменитый американский

ученый Клод Шеннон так и рассматривает информацию: то, что устраняет неопределенность выбора.

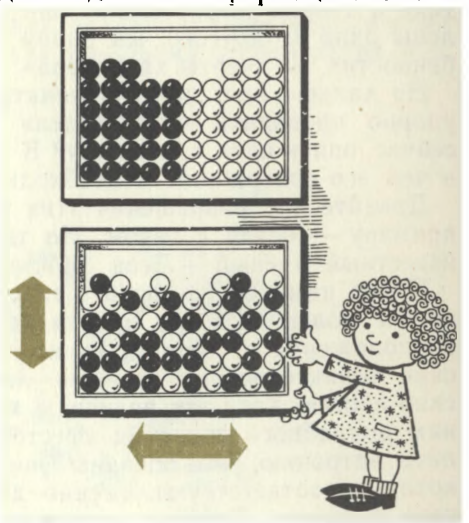
Вспомним микросостояния и макросостояния системы Больцмана. Там информация может подсказать нам, как, по какому определенному руслу движутся молекулы, оценить их движение. Таким же образом можно оценить и любую другую категорию, например различное значение букв. На этом основании Шеннон вводит для учета информации формулу энтропии: ведь математике неважно, какие конкретные значения стоят за буквами ее формул.

Этот вывод о глубокой аналогии энтропии и информации настолько интересен, что знаменитый французский физик Луи де Бройль считал это «наиболее важной и наиболее красивой из идей, подсказанных кибернетикой». А крупнейший специалист в области теории информации, выдающийся математик современности А. Н. Колмогоров говорит, что «такие математические аналогии следует всегда подчеркивать, так как сосредоточение на них внимания содействует прогрессу науки».

Вы, конечно, обратили внимание, как осторожны сами ученые в этом вопросе. Дальше аналогий они не идут. Почему? Потому что у энтропии физической и энтропии информационной очень разные «характеры», из-за которых они «ведут» себя по-разному.

Действительно, если при взаимодействии двух тел одно из них увеличивает энтропию, то это всегда бывает за счет другого тела. Но ничего подобного не случается, когда дело идет об информации. Очень остроумно сказал по этому поводу Луи де Бройль: «Если я посылаю вам телеграмму, чтобы известить о падении министерства, я доставляю вам информацию, но в то же время не теряю ее сам».

Тщательному и глубокому анализу подверг содержательность информации и энтропию Норберт Винер. Его интересовал вопрос, почему количество информации и энтропия связаны. И ученый пришел к ошеломляюще простому выводу: потому что они характеризуют реальность, действительность со своеобразных позиций, со своей собственной точки зрения — энтропия и информация рассматривают мир в соотношении хаоса и упорядоченности. Винер так и говорит: энтропия — мера хаоса, количество информации — мера упорядоченности.



Энтропия простой системы черных и белых шариков, разделенных в ящике, увеличивается от беспорядочных встряхиваний.



Башня, которую построил человек — «целесообразная физическая система», — отличается высокой степенью порядка. Проходят годы, и от случайных, ненаправленных воздействий извне башня развалится и превратится в груду камней — энтропия системы увеличилась.

Можно сказать, что наконец некоторая доля ясности внесена в понятие энтропии в физике и теории информации: они отделены одно от другого, мы знаем их «индивидуальные особенности», их «черты характера».

Но дальше идет нечто непонятное на первый взгляд. Стоило ли так упорно проводить «водораздел» между ними, чтобы, как выяснится сейчас, опять идти к единству? В чем заключается этот «обратный ход», в чем его содержание и необходимость?

Давайте для разрешения этих вопросов обратимся к знакомому нам примеру — сосуду с газом. Но теперь анализ будет проводить другой известный ученый — Леон Бриллюэн.

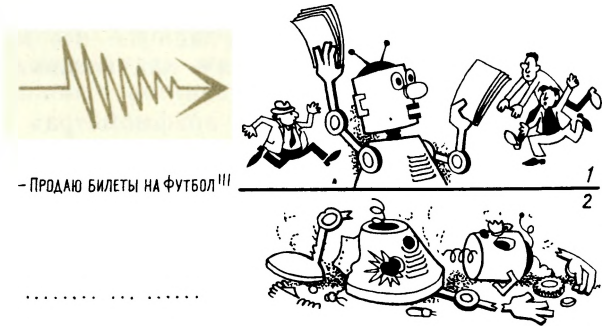
Перед нами снова сосуд с газом. Газ состоит из непрерывно движущихся молекул, и мы просто не знаем, не можем знать ни точного их положения в системе, ни их скорости. Но мы знаем макроскопические характеристики системы: давление, объем, температуру, химический состав. Хотя эти величины мы и можем измерить, но они не дают нам подробного описания «местоположения» молекул. А чтобы вычислить энтропию, мы обязаны учитывать все те внутренние состояния, которые соответствуют именно данному состоянию нашей системы — газа в сосуде. Поэтому естественно, чем меньше мы знаем, как себя ведут молекулы, тем больше неопределенность, тем больше число возможных внутренних состояний. Значит, больше вероятность, больше энтропия.

Правда, не всегда мы такие беспомощные — ничего не знаем о системе. Иногда кое-какие сведения у нас есть. Например, как система образовалась, момент ее возникновения. Это очень нужные данные, они — ключ к получению других, вытекающих отсюда данных, например — распределение плотности и скоростей.

Такие дополнительные сведения для нас очень ценны, потому что они помогают полнее охарактеризовать систему, а значит, снизить энтропию. Тогда выходит, что энтропию мы можем рассматривать как меру недостатка информации, а информацию — как отрицательное слагаемое энтропии, ее «негатив»? Именно так, говорит Бриллюэн, определяя информацию как негэнтропию.

Но так ли это важно, как назвать информацию — собственно информацией или негэнтропией? Оказывается, важно. Негэнтропийный принцип информации объединяет на новой основе энтропию и информацию, говорит, что нельзя их трактовать порознь, они всегда должны исследоваться вместе. И это положение верно для различных, невыразимо далеких одна от другой областей применения — от теоретической физики до примеров из повседневной жизни.

Итак, круг замкнулся. Мы узнали о Клаузиусе, нашедшем для названия нового понятия слово «энтропия». Познакомились с учением Больцмана о связи энтропии и вероятностного микросостояния тела. Узнали о воззрениях Винера на энтропию как меру хаоса. Мы прошли по трудной дороге — от различия к связи. Мы выяснили, какую ответственную роль сыграла энтропия в науке, как помогла она понять многие законы природы. Выяснили и то, как недавно теория информации «повернула» энтропию и заставила науку по-новому взглянуть на нее.





ЯЗЫК МАШИН

Специальные приемы записи информации с целью передачи ее электронно-вычислительной машине.

ШОКОЛАДНАЯ ПОМАДКА И «АЛГОЛ»

Всем известно, что язык — важнейшее средство человеческого общения; что язык — самая живая, самая обильная, самая прочная связь, соединяющая отжившие, живущие и будущие поколения людей в одно целое; что, наконец, язык — специфическая особенность только человека. Только человека! И вдруг... язык машин.

И все-таки он существует. И не просто существует, но развивается, совершенствуется, преодолевая всевозможные трудности и преграды.

А коль скоро он есть, давайте с ним познакомимся: узнаем, что он собой представляет, для чего нужен.

Для нас уже не секрет, что электронные быстродействующие вычислительные машины, какие бы различные задачи они ни решали, служат для одной цели — для переработки информации, которая в них поступает. Переработку же информации машина может произвести только тогда, когда четко изложена и постановка задачи — что машина должна делать и точно дан метод ее решения — как машина должна поступать.

Словесное описание для «электронного арифмометра» не подходит: очень громоздко, неточно и нестрого. Ведь наш разговорный язык отличается большой гибкостью, многозначностью слов, образностью, даже некоторой субъективностью.

Именно эти характеристики «не устраивают» машину. Она требует однозначности, конкретности, точности. Поэтому задачу переводят с «человеческого языка» на машинный: специальным кодом (двоичным кодом — 0 и 1) записывают перечень команд, которые должна проделать машина, чтобы решить задачу. Этот перечень команд, их последовательность называется программой. Она распределяет все действия машины, дает описание всех вычислительных процессов.

Вот как выглядит запись на машинном языке: 0001·0000001010. Для непосвященного ясно одно: это какая-то кодированная запись. Но какая? А вот машина прочитает ее так: «сложить число из ячейки номер десять в оперативной «памяти» с числом, стоящим в сумматоре».

Перед нами своеобразное превосходство 0 и 1 над естественным языком: четырнадцать знаков — и целое предложение из четырнадцати слов. В чем другом, но в емкости машинному языку не откажешь.

Именно поэтому он удобен для обмена информацией между людьми и машинами, для «общения» машины с машиной. Машинный язык помогает и при обмене информацией между людьми посредством машин. Он помогает «разговаривать» машинам с другими системами и системами внутри самой машины. Как видите, диапазон его действия достаточно широк.

Но, кроме достоинств, у машинного языка есть и недостатки. И главный, чрезвычайно существенный, заключается в том, что каждый класс машин «разговаривает» на своем собственном, только ему понятном «диалекте». Оказывается, за годы существования быстродействующих электронных «счетчиков» появилось 4700 искусственных языков! «КОБОЛ», «ФОРТРАН», «ДЖОВИАЛ», «АЛЬФА», «АПЗ», «АЛКОПОЛ», «МАТЕМАТИК» — все не перечислишь.

Сколько такая «разговорная разобщенность» вызывает трудностей! Чтобы задания, сформулированные для одной машины, передать машине другой конструкции, программисты вынуждены его перепрограммировать. Опять затраты труда, времени!

Представьте себе вычислительный центр, который работает с небольшим количеством оборудования. В тот день, когда в вычислительном центре произойдет расширение и заменится оборудование, «сломается» и существующий здесь машинный язык.

Поэтому программирование на уровне команд — на уровне языка конкретной машины — при современном состоянии науки и техники, когда надо производить гигантское количество, буквально лавины вычислений, не могло уже удовлетворять ученых. Они задумали перейти от «местных диалектов» машин к созданию языка автоматического программирования — истинного машинного языка, понятного всем машинам.

Эта задача труднее, гораздо сложнее, чем простое перечисление набора команд в программе.

ДЛЯ ЧЕГО НУЖЕН ЯЗЫК АВТОМАТИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ?

Всегда для одной цели: помочь программисту сообщить машине, что́ она должна делать.

Специалисты сравнивают подобный искусственный язык с той частью языка разговорного, которая используется в руководствах, указывающих, «что надо делать». Например, он очень схож с языком обыкновенной поваренной книги. И чтобы описать

ОПИСАНИЕ ПРОЦЕДУРЫ

СОСТАВНЫЕ ЧАСТИ ПОМАДКИ



2 ЧАШКИ САХАРНОГО ПЕСКУ



1 ЧАШКА МОЛОКА



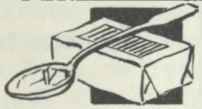
1/2 ЧАЙНОЙ ЛОЖКИ СОЛИ



50 г НЕПОДСЛАЩЕННОГО ШОКОЛАДА



2 СТОЛОВЫХ ЛОЖКИ КУКУРУЗНОЙ ПАТОКИ



2 СТОЛОВЫХ ЛОЖКИ МАСЛА



1/2 ЧАЙНОЙ ЛОЖКИ ВАНИЛИНА

ПОРЯДОК ПРИГОТОВЛЕНИЯ

1. СМЕШАТЬ ПЕРВЫЕ ПЯТЬ СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ В КАСТРЮЛЕ, СТОЯЩЕЙ НА НЕБОЛЬШОМ ОГНЕ. ВСЕ ВРЕМЯ ПОМЕШИВАТЬ, ПОКА НЕ РАСТВОРИТСЯ САХАР.





2. ИЗРЕДКА ПОМЕШИВАЯ, ВАРИТЬ НА МЕДЛЕННОМ ОГНЕ ДО ТЕХ ПОР, ПОКА КАПЛЯ НЕ СТАНЕТ ПРЕВРАЩАТЬСЯ В ХОЛОДНОЙ ВОДЕ В МЯГКИЙ ШАРИК.

3. СНЯТЬ КАСТРЮЛЮ С ОГНЯ, ПОЛОЖИТЬ МАСЛО.





4. ОСТАВИТЬ СТОЯТЬ /НЕ МЕШАЯ/ ДО ТЕХ ПОР, ПОКА ВЫ НЕ СМОЖЕТЕ СПОКОЙНО ДЕРЖАТЬ РУКОЙ КАСТРЮЛЮ.

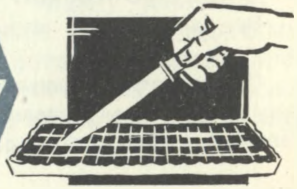
5. ДОБАВИТЬ ВАНИЛИН, ВЗБИВАТЬ ЛОЖКОЙ ДО ТЕХ ПОР, ПОКА СМЕСЬ НЕ УТРАТИТ СВОЙ БЛЕСК И НЕБОЛЬШОЕ ЕЕ КОЛИЧЕСТВО ПРИ СТЕКАНИИ С ЛОЖКИ НЕ БУДЕТ СОХРАНЯТЬ СВОЮ ФОРМУ.





6. ПОМЕСТИТЬ В СМАЗАННУЮ МАСЛОМ ФОРМУ.

7. ОХЛАДИТЬ.
НАРЕЗАТЬ КВАДРАТИКАМИ.



классы грамматических форм, присущих искусственному языку, обычно пользуются — для большей наглядности и доходчивости изложения — аналогией с каким-либо рецептом из поваренной книги.

Возьмем рецепт приготовления шоколадной помадки (см рисунок на стр. 330).

Вы, конечно, обратили внимание, что рецепт делится на две части. В первой — описание того, что требуется для приготовления помадки. Во второй — перечислены процедуры, которые надо последовательно выполнять, чтобы решить задачу: приготовить помадку.

Так и языки автоматического программирования содержат два типа грамматических форм. Их называют описаниями и процедурами. Описания, в свою очередь, делятся на два типа: описания данных — список составных частей и описания процедур — подпрограммы. Процедуры, которые по рецепту следует выполнить, сходны с обычной программой машинного языка. Далее идут операторы процедур — они соответствуют предложениям и описывают операции, которые надо произвести с составными частями.

Вообще операторы и описания данных в искусственном машинном языке состоят из выражений, которые могут быть непосредственно образованы из чисел, слов, сокращенных названий мер, из придаточных предложений и групп слов. А выражения, соответствующие словам, состоят из комбинаций символов.

Эта взаимосвязь структур типа «что надо делать», которую мы рассмотрели сверху вниз, характерна и для языка поваренной книги, и для автоматизированного языка. Разница только в характере действий, выполняемых операторами процедур, а характер действия зависит от области применения языка.

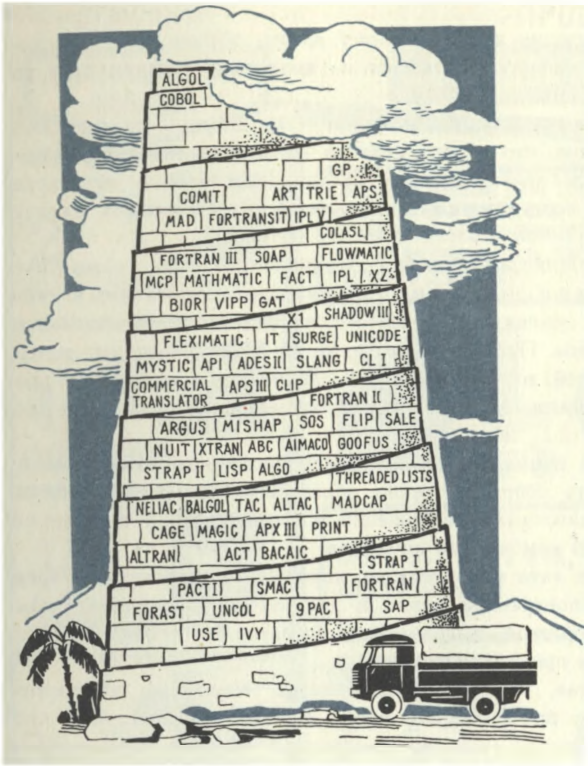
Например, операторы «смешать», «охладить», «взбивать», «разрезать на части», «помешивать» относятся к процессу приготовления пищи. А для вычислительных процессов свойственны другие операторы: «извлечь квадратный корень», «возвести в 24-ю степень», «присвоить значение», «повторять следующие вычисления, пока...»

Итак, вы познакомились в общих чертах с характером и особенностями автоматизированного машинного языка. Теперь познакомьтесь с историей его создания и целью.

Автоматизированный машинный язык нужен был, чтобы «убить сразу двух зайцев»: во-первых, облегчить труд составителя программ — программиста, который до сего времени составлял «руководство к действию» для машин вручную. Сущность же автоматического программирования как раз противоположна: заставить машину составлять для себя программу, свести к минимуму затрату ручного труда.

Вторую причину (очень важную) — создание единого машинного языка — вы знаете.

И вот появился единый язык, на котором, как предполагают, будут «говорить» все машины мира. Он возник не сразу. Долго шла подготовительная работа. Наконец в 1958 году в Цюрихе собрали международную конференцию. И лишь к 1960 году международные организации, связанные с вычислительной техникой, создали рабочую группу, кото-



«Вавилонская башня» машинных языков.

рая исправила обнаруженные ошибки, устранила очевидные двусмысленности, внесла бо́льшую ясность — короче, усовершенствовала язык, известный теперь под названием «АЛГОЛ-60», что означает «алгоритмический язык».

Перед описанием этого машинного языка стоит эпиграф: «То, что может быть сказано, должно быть сказано ясно, а то, о чем невозможно говорить, — о том следует молчать».

Вот почему в международном кибернетическом языке всего 500 слов. Это специальные команды, необходимые для управления машиной. Все их многообразие заключается между словами «begin» — «начало» работы и «end» — «конец».

В этом машинном языке, как и во всяком языке, есть буквы, цифры, синтаксис, семантика. Но есть много и машинного своеобразия. Он близок к привычным математическим формулировкам, удобен для перевода на машинный язык самой машиной. Но, к сожалению, он столь сложен, что, помимо машины, его могут понимать только профессиональные программисты. Они стоят теперь между машинами и человеком как «жрецы-посредники».

Язык типа «АЛГОЛ-60» принято называть универсальным языком, поскольку он предназначен для самых разных машин. Но... Тут на пути ученых опять встают ограничения. Оказывается, даже универсальный язык — не истинно универсален. Его ограничивает ориентация: «поле его деятельности», круг его задач.

«АЛГОЛ» — язык, предназначенный для научно-технических вычислений, для решения математических задач. В нем очень мало внимания обращается на форму или характер данных.

Но бывают задачи, в которых самое главное как раз форма и характер данных. Это задачи обработки информации. У них свои особенно-

сти: как обработать большие массивы данных, как их систематизировать при повторяющихся операциях, и т. п.

В качестве такого универсального языка стали все чаще использовать «КОБОЛ». Он ориентирован на решение экономических задач. «КОБОЛ» построен на основе обычного латинского алфавита, кроме того, он в силу своей направленности почти все описывает словами, имеющими конкретный смысл в обычном, натуральном языке. Поэтому текст на «КОБОЛЕ» внешне очень напоминает текст натурального языка.

Видите, какой длинный и многотрудный путь прошли машинные языки от «диалекта» до нескольких всеобщих, универсальных языков. И нет сомнения, что путь этот скорее начат, чем закончен. Ибо уже теперь специалисты ставят вопрос о дальнейшем стремлении получать «максимум удобств» от автоматического программирования. И первой задачей, которую здесь называют, признают освобождение алгоритмического языка от его ориентации, расчета на определенную сферу действия, на определенный класс проблем.



ОГЛАВЛЕНИЕ

МОИМ ДРУЗЬЯМ-ЧИТАТЕЛЯМ 3
ИЗУЧАЙТЕ КИБЕРНЕТИКУ! 5

А

АВТОМАТ. Тайное слово дедушки Само 7
АВТОМАТИЗАЦИЯ. Основная линия 14
АВТОМАТИКА. Секрет могущества — «органы чувств» и «мышцы» . 21
АЛГОРИТМ. Правила для всех 32

Б

БИОНИКА. «Конструкторское бюро живой природы» 37
БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ ЦИФРОВАЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МАШИНА. Молниеносный счет 44

В

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МАТЕМАТИКА. Добрая фея 49
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА. От сливовых косточек к быстродействующим машинам 58
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР. Фабрика чисел 70

Г

ГРУППА КОДОВАЯ. «В каждой строчке только точки» 76

Д

ДВОИЧНАЯ СИСТЕМА СЧИСЛЕНИЯ. Все из 0 и 1 80
ДОКУМЕНТАЛИСТИКА. Как найти иголку в стоге сена? 85

Е

ЕМКОСТЬ ПАМЯТИ. «След на восковой поверхности» 93

Ж

ЖАККАРДОВ ПРИНЦИП. «Говорящие» отверстия 101

З

ЗАПИСЬ ЧИСЕЛ В МАШИНЕ. Два состояния 110

И

ИНФОРМАЦИЯ. Не вещество и не энергия 115

К

КИБЕРНЕТИКА. Общее в разном 124
КИБЕРНЕТИКА В БИОЛОГИИ. Живое под «микроскопом» чисел . 129
КИБЕРНЕТИКА В ЭКОНОМИКЕ. С формулами сквозь деньги и товары 140

Л

ЛИНГВИСТИКА МАТЕМАТИЧЕСКАЯ. Слова и числа 151
ЛОГИКА МАТЕМАТИЧЕСКАЯ. Три богатыря 157

М

МИКРОМИНИАТЮРИЗАЦИЯ. Куда стремится карлик? 167
МОДЕЛИРОВАНИЕ. Одинаковые неодинаковости 176
МУЗЫКА ЭЛЕКТРОННАЯ. Композитор без слуха 186

Н

НАДЕЖНОСТЬ. Показатель доверия 196

О

ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ. От конца к началу 202
ОБУЧАЮЩАЯ МАШИНА. Двойку ставит автомат 207

П

ПЕРЕВОД МАШИННЫЙ. «Лошадь (по имени) Чарли» 214
ПРОГРАММИРОВАНИЕ. Путеводитель по «машинному городу» . . 220
ПСИХОЛОГИЯ ИНЖЕНЕРНАЯ. Человек у машины 228

Р

РАСПОЗНАВАНИЕ ЗВУКОВ РЕЧИ. Поговорим по-человечески . . 235
РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ. Что есть что? 243
РОБОТЫ. «Эрик», «Тинкер», «Сибиряк» и другие 251

С

САМОПРИСПОСАБЛИВАЮЩАЯСЯ СИСТЕМА. На пути к «умному» автомату 256
СЕМИОТИКА. Внимание! Знаки... 262

Т

ТЕОРИЯ ИГР. «Красные» против «синих» 268

У

УПРАВЛЯЮЩАЯ МАШИНА. Где человек не справляется 276

Ф

ФОРМАЛИЗАЦИЯ. Жесткое существо дела 283

Х

ХАРАКТРОН. Световая «самописка» 291

Ц

ЦИФРОВОЙ СУММАТОР. Электронная «застежка-молния» 296

Ч

«ЧЕРНЫЙ ЯЩИК». «Ничего не знаю, ничего не вижу, никому ничего не скажу» 301

Ш

ШИФРОВАНИЕ. «Тайна, покрытая мраком» 308

Э

ЭВРИСТИКА. Почему так, а не этак? 315
ЭНТРОПИЯ. «Демон» открывает двери 321

Я

ЯЗЫК МАШИН. Шоколадная помадка и «АЛГОЛ» 328

ДЛЯ СРЕДНЕГО И СТАРШЕГО ВОЗРАСТА

Пенелис Виктор Давыдович

Маленькая энциклопедия о большой кибернетике

Ответственный редактор *М. А. Зубков.* Художественный редактор *В. А. Горячева.* Технический редактор *М. А. Кутузова.* Корректоры *Е. Б. Кайрукштис* и *К. И. Каревская.* Сдано в набор 1/III 1970 г. Подписано к печати 7/X 1970 г. Формат 70×90¹/₁₆. Печ. л. 21. Усл. печ. л. 24,57. (Уч.-изд. л. 19,72). Тираж 100 000 экз. ТП 1970 № 539. А10345. Цена 1 р. 58 к. на бум. № 1. Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Детская литература» Комитета по печати при Совете Министров РСФСР. Москва, Центр. М.Черкасский пер., 1.

Калининский полиграфкомбинат детской литературы Росглавполиграфпрома Комитета по печати при Совете Министров РСФСР. Калинин, проспект 50-летия Октября, 46. Зак. 537.

1р. 58 к.