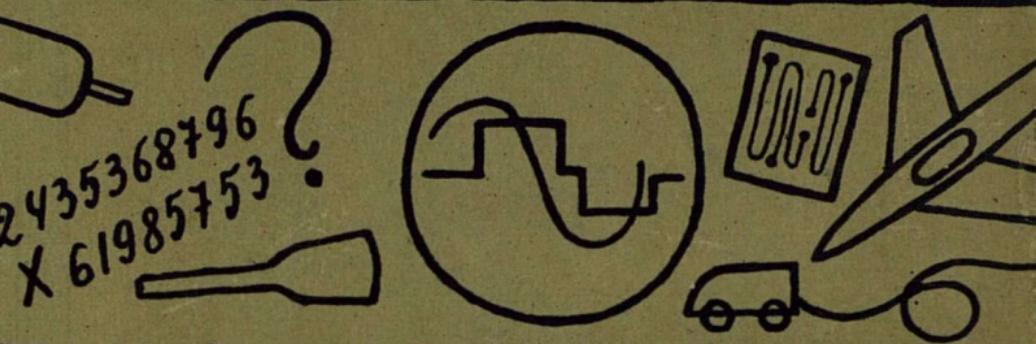
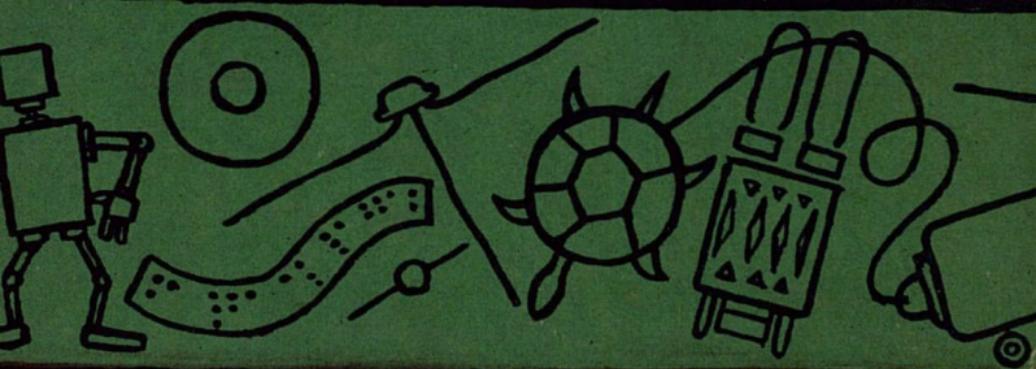


М.Т. Рейнберг



ДУМАЮЩИЕ



МАШИНЫ

ШКОЛЬНАЯ БИБЛИОТЕКА

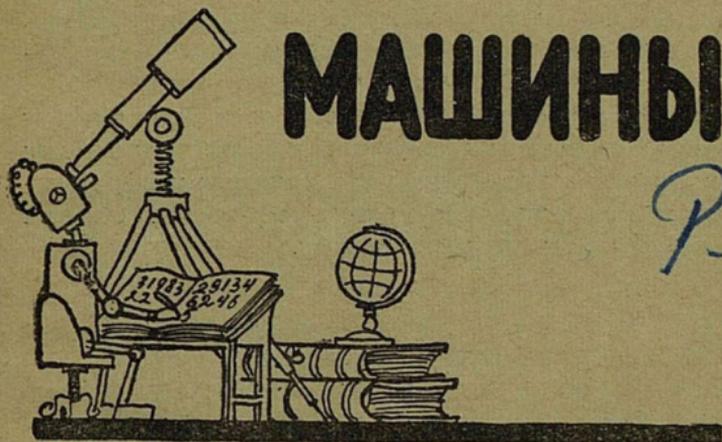
М.Т. Рейнберг



ДУМАЮЩИЕ

МАШИНЫ

P-31

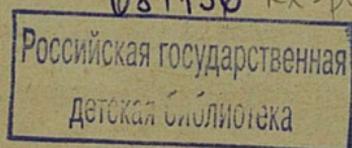


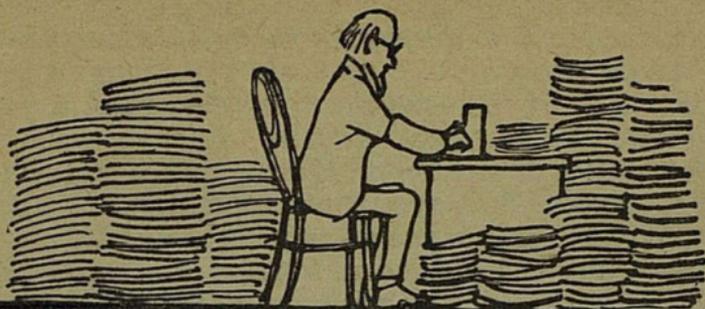
Государственное Издательство Детской Литературы
Министерства Просвещения РСФСР.
Москва 1957.

Книга «Думающие машины» в популярной форме рассказывает об одном из замечательных достижений науки и техники наших дней—электронных цифровых вычислительных машинах, образно называемых думающими. Читатель узнает о важнейших событиях истории вычислительной техники, завершившихся созданием этих машин, и о простейших действиях двоичной арифметики, положенной в основу работы цифровых машин. В книге рассматриваются также их строение и важнейшие свойства — быстродействие и точность.

Значительная часть книги посвящена достаточно строгому в научном отношении и в то же время увлекательному рассказу о самых разнообразных применениях думающих машин в деле гигантского облегчения труда людей в различных областях производственной деятельности и в быту.

681156 КХ-редк





У этой книги довольно странное название: «Думающие машины». Такое название, пожалуй, сразу же может вызвать у вас недоумение. Неужели речь пойдет о каких-то машинах, которые могут заменить человека в его умственном труде, о машинах, которые способны думать, мыслить, принимать решения? Не похоже ли на то, что речь пойдет о каком-то сооруженном на заводе механическом, электрическом или электронном мозге? И не рискуем ли мы попасть с нашими думающими машинами и искусственным мозгом в область несбыточного, в мир фантастики?

Да, действительно мы начинаем рассказ о машинах и устройствах, способных в гигантской степени облегчать умственный труд людей и во многих случаях вовсе его заменять. Мы начинаем рассказ о машинах, работа которых, заранее определенная инженерами и математиками, протекает так логично и разумно, что возникает желание назвать эти машины думающими.

В этой книге мы поведем рассказ только о вещах

существующих, об истинных достижениях современной науки и техники. С нашими думающими машинами мы не будем совершать путешествий в фантастические миры, не станем придумывать им необычайных применений. В этом ведь нет необходимости, ибо создание думающих машин, их все возрастающее проникновение во многие и многие области человеческой деятельности, иными словами — реальный мир этих машин и так таит в себе много увлекательного и необычайного. Прочитав эту книгу, вы, наверно, согласитесь с таким утверждением.

Но возвратимся опять к названию книги. Откровенно говоря, его нельзя считать удачным. И в то же время ничего лучшего придумать не удалось. Пожалуй, самое правильное было бы назвать все то, о чем пойдет речь, автоматами, приспособленными для выполнения логических действий, или логическими машинами. Но такое название затушевывает для непосвященного читателя сущность и назначение этих машин. Одним из важнейших применений думающих машин, конечно, является автоматизация вычислительных работ. И все-таки другое возможное название — «Вычислительные машины» — никак не может нас удовлетворить. Ведь задачи, поручаемые думающим машинам, значительно шире и многообразнее, чем обслуживание математики и бухгалтерии.

Может быть, лучше было бы назвать книгу «Разумные машины»? Но и это не годится. Нельзя предполагать, что машины могут обладать разумом. Можно, конечно, договориться о том, чтобы считать разумными машины, которые удачно сконструированы, построены и поэтому совершают хорошо продуманные действия. Но тогда пришлось бы завести разговор о самых разнообразных автоматах, которые действуют по заранее предписанным правилам, но которые все-таки нельзя считать разумными.

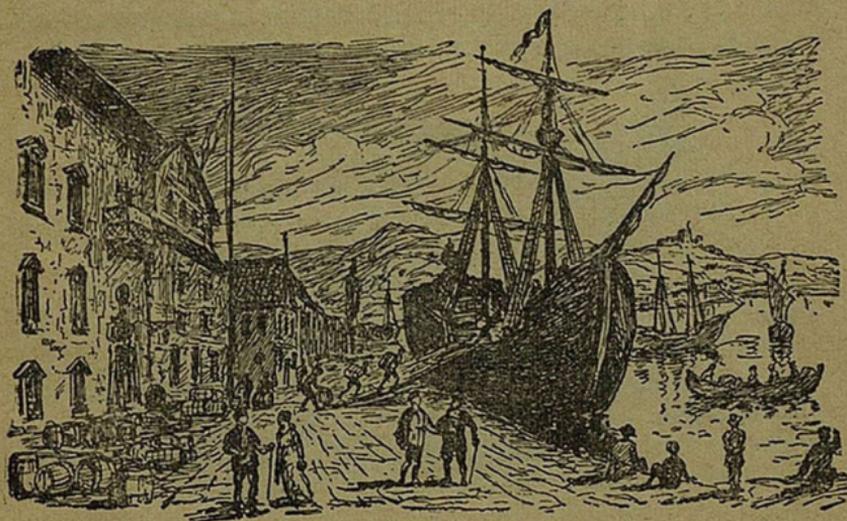
Итак, остановимся на названии «Думающие машины». Разумеется, любая, самая сложная, наиболее разумно сконструированная машина не способна думать. Это машина, прибор, а не мыслящий мозг человека. Значит, слово «думающие» вполне заслуживает того, чтобы его поставили в кавычки.

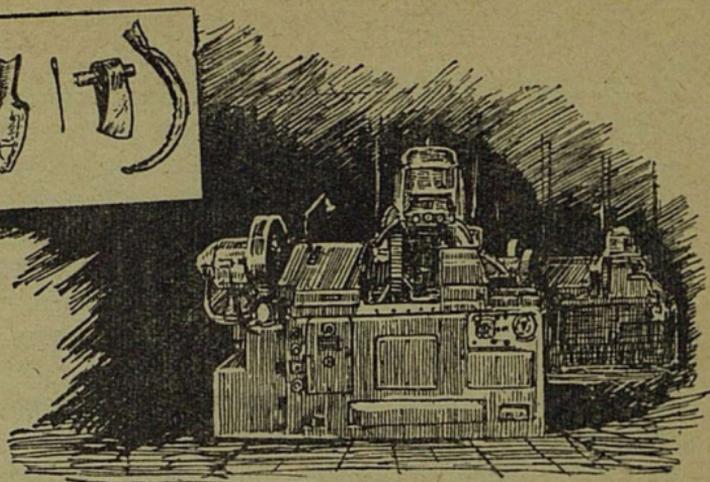
ВСКОЛЬЗЬ О МНОГОМ

Машины, которые думают... Даже ничего не зная о них, можно догадаться по этим словам, что такие машины нужны для облегчения умственного труда. И действительно, в этом заключается первое важное назначение думающих машин. Уже давно возникло стремление облегчить труд людей, производивших разнообразные вычисления. Впервые эта задача встала перед человечеством примерно три столетия назад.

Это была пора великих географических открытий, пора возникновения и роста городской промышленности, пора быстрого развития астрономии и других наук. И неспроста именно в это время была создана первая несложная механическая счетная машина.

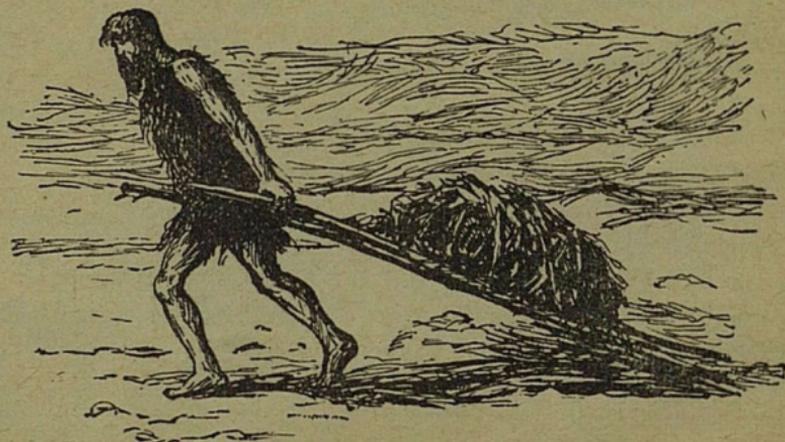
На протяжении трех последующих столетий в технике механических машин было сделано немало важных изобретений и усовершенствований. В середине прошлого века кое-где уже было налажено фабричное изготовление вычислительных машин. Затем в мир счетных машин вторглись электротехника и электроника, которые произвели в вычислительной технике подлинный переворот. Спустя триста лет после рождения первой механической заработала

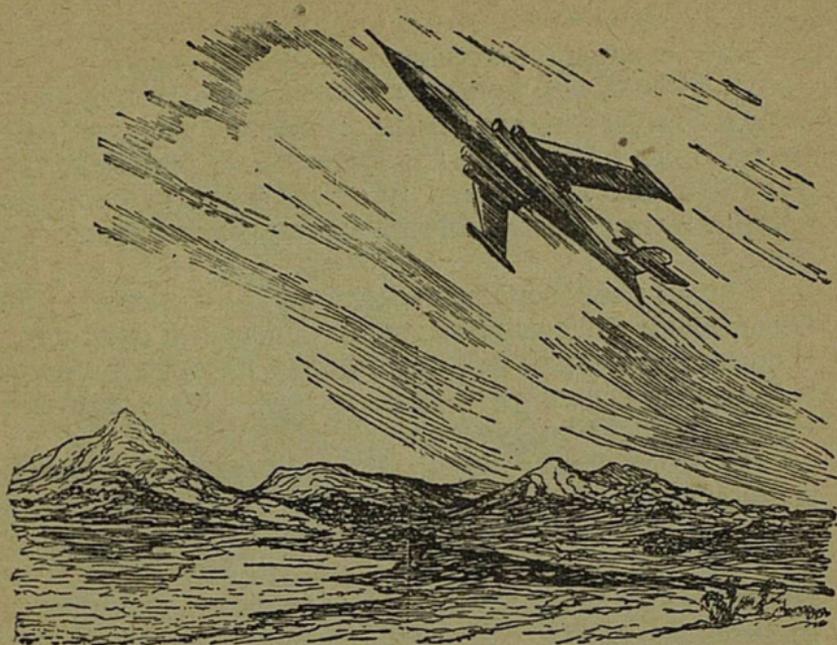




первая электронная цифровая машина. На электронных машинах стала достижимой поразительная скорость вычислений, в десятки тысяч раз превышающая возможности человека-вычислителя. Оказалось, что они могут решать буквально любые по сложности и трудоемкости задачи.

Появление электронных счетных машин, так же как и рождение их далеких механических предков, произошло не по прихоти нескольких спрятавшихся от практических дел математиков. Нет, сама жизнь требовала создания новых вычислительных средств. Ведь наша эпоха — это эпоха бурного развития авиации, флота, радиотехники, многочисленных отраслей промышленности, это эпоха разнообразных





научных исследований, это, наконец, век атомной энергии. С каждым годом, с каждым месяцем и днем стремительно растет число самых различных математических задач, которые должны быть безотлагательно решены. От этого непосредственно зависят успех и темпы дальнейшего развития многих областей науки и техники. И на смену старым вычислительным приборам, оказавшимся беспомощными перед лицом новых задач, пришли электронные счетные машины.

Но думающим машинам нашлось еще одно исключительно важное применение — облегчение производственного, физического труда людей.

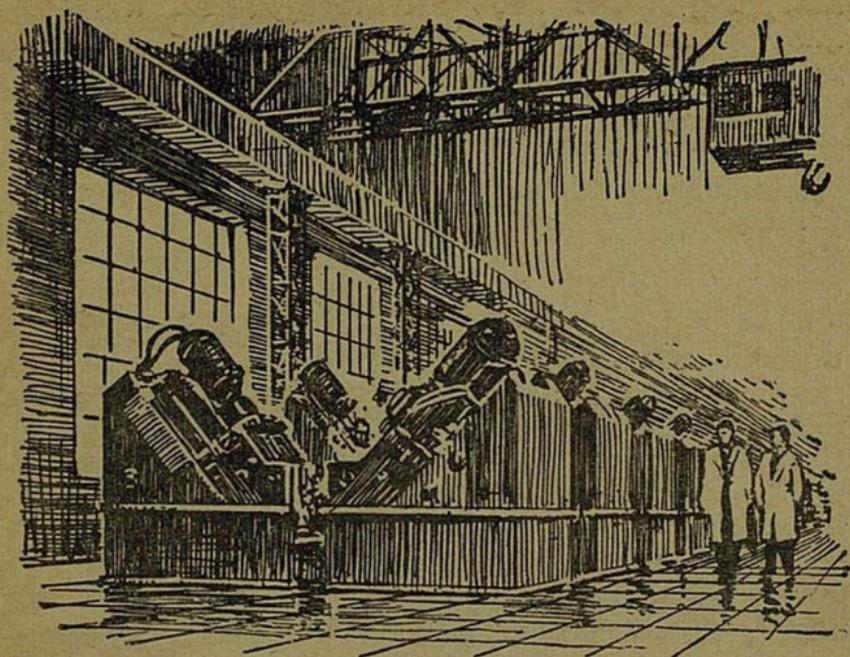
Физические возможности человека, его силы невелики. Поэтому с древних времен и до наших дней люди постоянно стремились увеличить силу своих рук, сделать свой труд более производительным. Долгая история труда, исканий и борьбы многих поколений дала замечательные результаты. Возникла высокоразвитая машинная промышленность, способная производить разнообразные машины, приборы, материалы и вещества. Современные транспорт и

связь сделали «соседями» людей, населяющих различные страны и континенты. Неизмеримо усилились способности человека чувствовать и познавать окружающий его огромный и неисчерпаемый мир. Он изобрел тончайшие измерительные приборы, научился видеть, слышать и осязать на расстоянии, проник в мир мельчайших, не видимых глазом частиц.

Создав разнообразные машины, аппараты и приборы, люди в огромной степени облегчили свой труд. С помощью машин человек придал гигантскую силу и быстроту своим рукам и ногам, замечательную чуткость органам чувств.

Но этого недостаточно. В современных машинах и аппаратах подчас протекают настолько сложные или быстрые процессы, что людям становится трудно, а иногда и невозможно вручную управлять ими. Пришлось позаботиться о том, чтобы и управление машинами или процессами передать специальным устройствам, человеку же остается только контролировать их работу. Так возникли различные автоматические устройства, которые теперь можно встретить во многих отраслях народного хозяйства.

Может ли быть управляемый процесс настолько сложным, что обычной автоматике окажется не под силу учитывать все стороны такого процесса и давать требуемый результат? Да, может. Кто же окажет необходимую помощь человеку в этом случае? Только такая более совершенная автоматика, которая, подобно человеку, способна почти сознательно управлять процессом, учитывать изменения обстановки, принимать решения и быстро перестраиваться. Производственная и военная техника наших дней властно требует применения именно такой автоматике. Значит, здесь нужны думающие, управляющие машины, то есть машины, которые могли бы вместо людей командовать производством и освободить их от непосредственного управления машинами, станками или аппаратами. А ведь эта работа требует от людей не только умственного, но и физического напряжения. Так автоматика и ее новейшее достижение — думающие машины — приводят к огромному облегчению физического труда людей.



В этой книге и пойдет речь об устройстве электронных вычислительных машин, которые являются выдающимся достижением человеческого ума. Внешние проявления логических способностей думающих машин поражают всякого, кто впервые знакомится с ними. Прочитав эту книгу, вы убедитесь, что в их работе нет ничего фантастического: машина не оживает, она остается машиной. Из книги вы узнаете, как развитие электротехники, физики обогащает технику думающих машин. Я расскажу о многих удивительных применениях думающих машин, и вы увидите, как богаты и неисчерпаемы их возможности.

ПРЕЖДЕ ВСЕГО — ОБЛЕГЧИТЬ СЧЕТ

Сейчас трудно перечислить все возможности применения современных думающих машин. Они чрезвычайно разнообразны. Можно не сомневаться, что с каждым годом ученые и инженеры будут находить всё новые и новые пути использования этих своих помощников. Но весь долгий путь, который привел к

их созданию, начался с простого — с попыток облегчить вычисления. Не будем вспоминать о числовых таблицах и о деревянных счетах, известных уже много веков и без которых еще и сейчас не обходятся многочисленные счетные работники. Для нас представляют интерес только машины, только такие устройства, которые, будучи приведены в действие, могут самостоятельно выполнять математические операции, хотя бы и самые простые.

Когда произносят слово «машина», мы невольно представляем себе некое сооружение из различных механических деталей, способное либо обрабатывать материалы, либо поднимать, перевозить что-нибудь... Словом, мы предполагаем выполнение машиной какой-то силовой работы. Начиная наше знакомство с различными вычислительными, логическими и управляющими машинами, мы попадаем в мир машин, которые не имеют никакого силового назначения. Это машины информации, машины, вырабатывающие на основе исходных данных какие-то определенные необходимые сведения.

Первая счетная машина была создана знаменитым французским физиком и математиком Блезом Паскалем в 1642 году. Эта машина была очень проста, состояла в основном из зубчатых колес и выполняла только сложение двух чисел. Но даже с помощью такой примитивной машины человек считал быстрее и точнее, чем вычислитель с бумагой и карандашом. Одна из идей, заложенных в этой машине, широко применяется и в наши дни в различных счетных устройствах (например, в арифмометре, счетчике электроэнергии и т. п.). Речь идет о том, что для цифр разных разрядов отводят различные зубчатые колеса. Каждое предыдущее колесо соединяется с последующим с помощью одного лишь зубца. Этот зубец вступает в зацепление с очередным колесом только после того, как будут пройдены все девять цифр данного разряда. Пусть, например, к шести прибавляется пять, тогда колесо единиц совершит в сумме 11 шагов; в положении «0», следующем после положения «9», сцепится с колесом десятков и повернет его на один зубец. Если на колесах изобразить цифры, то оба колеса покажут число 11.

После смерти Паскаля начинается долгая пора многочисленных усовершенствований его машины, а затем и новых изобретений. Со времени Паскаля до наших дней было создано около четырехсот видов разнообразных механических счетчиков и счетных машин.

Чем были вызваны эти непрекращавшиеся усовершенствования? Прежде всего стремлением добиться от счетных машин быстродействия. Существовала и другая причина — надо было сделать работу этих машин безотказной. Но каждый шаг на пути улучшения машин давался с трудом.

Большинство из многочисленных изобретений счетной техники, сделанных на протяжении трех веков, уже забыто. Но были и такие изобретения, которые явились важными событиями в истории вычислительных машин. Вот о них-то мне и хочется вкратце рассказать.

В 1677 году великий немецкий математик и философ Лейбниц совершил поездку в Париж. Изучая достопримечательности этого города, он случайно натолкнулся в одном из его музеев на машину Паскаля. Познакомившись с этой несложной машиной, Лейбниц увлекся задачей механизации счетной работы и с мыслями о новом устройстве возвратился на родину. И вот через несколько месяцев возникло первое устройство для умножения чисел, которое приводилось в действие от руки.

Английский математик и изобретатель Бэббедж в 1842 году разработал проект машины, которая, по его замыслам, должна была автоматически выполнять любые математические расчеты. В этой машине имелось арифметическое устройство, действовавшее с учетом знака чисел (+ или —). В ней же было запроектировано устройство хранения тысячи чисел. Управление последовательностью операций должно было выполняться с помощью заранее подготовляемых вычислителем картонных лент с отверстиями.

Как вы увидите далее, все эти три элемента: арифметическое устройство, память для хранения чисел и программа управления обязательно имеются в современных вычислительных машинах. Несмотря на то что машина Бэббеджа представляла собой

важный шаг вперед в технике вычисления, полностью осуществлена она не была. После двадцати пяти лет труда и огромных издержек изобретатель был вынужден отказаться от ее завершения.

В 1874 году русский инженер Однер создал арифмометр весьма удачной конструкции, и в 1887 году было начато производство этих арифмометров на небольшом, специально построенном заводе. Об арифмометре Однера тогдашние специалисты-вычислители давали самые похвальные отзывы. Он успешно конкурировал с лучшими арифмометрами европейских фирм. И все же производство арифмометров Однера скоро заглохло. Царское правительство не поощряло развитие своей промышленности и предпочитало ввозить счетные машины из-за границы.

Вычислительные машины времен Однера обладали одним существенным неудобством. Результат вычисления приходилось каждый раз записывать на листке бумаги по показаниям цифровых колес. Пора было позаботиться о том, чтобы счетная машина сама печатала на бумаге ответ, тем более что к этому времени уже была изобретена пишущая машинка. И вот в 1889 году появилась первая счетная машина, снабженная печатающим устройством. Работа вычислителей намного облегчилась.

Многое изменилось к лучшему в устройстве вычислительных машин, и все же ряд операций по-прежнему совершался вручную. Во весь рост встала задача автоматизировать эти операции. Создателем первого автоматического устройства для умножения и деления чисел явился великий русский математик Пафнутий Львович Чебышев. Свое изобретение он впервые демонстрировал в 1896 году на выставке в Париже. Но прошло немало лет, прежде чем его идеи нашли практическое применение.

Большие и многообещающие перемены принесла в счетную технику такая, на первый взгляд, мало-значительная вещь, как картонная карточка с отверстиями, получившая название перфокарты. С помощью отверстий на перфокарте можно изображать любые числа и в таком виде вводить их в счетную машину. Перфокарта была, по существу, повторно, после Бэббеджа, предложена доктором Холлеритцем

в США в 1880 году. В первые десятилетия нашего века ее усовершенствовали и придали ей стандартный вид. Об очень полезных качествах перфокарт мы еще поговорим впоследствии.

В конце XIX века знаменитый математик и кораблестроитель академик А. Н. Крылов разработал теорию машин для решения сложных задач высшей математики, а в 1911 году в Петербурге им была построена машина для решения уравнений колебаний корабля.

К концу прошлого века наряду с арифмометрами появились первые настольные счетные машины с электрическим приводом. В них арифметические действия выполнялись автоматически, но числа каждый раз вводились вручную и также вручную производился выбор операций.

С началом нашего века еще более возросли потребности статистики, бухгалтерии и банковского дела в счетных машинах, которые работали бы достаточно быстро и точно. Для удовлетворения этих нужд были созданы счетно-аналитические машины. Не только исходные числа, но и команды для выполнения нужных действий заранее вводились в эти машины с помощью перфокарт. Так, впервые управление машиной в ходе вычислений стало осуществляться автоматически. Правда, весь процесс вычислений все еще требовал неоднократного вмешательства человека. Счетно-аналитические машины, широко применяемые и в наши дни, успешно справляются с самыми различными бухгалтерскими и статистическими расчетами. Однако для решения сложных математических задач, которые возникают в науке и технике, они оказались мало пригодными.

Наша экскурсия в *прошлое* механических счетных машин была очень краткой. И это естественно. Ведь замечательное достижение человеческого разума — думающие машины, которым посвящена наша книга, — это машины *сегодняшнего* дня и, в еще большей степени, машины *будущего*.

Но наше знакомство с историей не было и напрасным. Теперь вы знаете о некоторых важнейших вехах на пути, приведшем к созданию думающих

машин. Многие и многие ценные идеи, родившиеся в мире механических машин, сохранили свое значение вплоть до наших дней. Они с успехом были использованы и в недалеком прошлом, когда в вычислительную технику вторглось электричество.

Почему стремление к улучшению счетных машин заставило ученых и инженеров обратиться к электроэнергии? Иными словами, почему современные счетные машины являются электрическими? Мы сразу сможем дать ответ на эти вопросы, если вспомним, что электроэнергия обладает рядом важнейших свойств.

Какие же из них представляют особую ценность для вычислительной техники?

Прежде всего, исключительно большая скорость распространения электроэнергии. Ведь многочисленные усилия изобретателей механических счетных машин были направлены на повышение их быстродействия. Применение электричества позволило добиться в этом отношении небывалых результатов. Уже первые электрические счетные машины стали считать с такой скоростью, какая была совершенно немыслима в машинах механических. Ну, а с потрясающей работоспособностью современных электронных машин вам еще предстоит познакомиться.

Вторым очень полезным свойством мы назовем легкость и простоту преобразования многих других видов энергии в электрическую и наоборот. Это взаимное преобразование энергии используется в счетных машинах исключительно широко.

Еще до возникновения электрических счетных машин в вычислительной технике определились два самостоятельных пути. Первым из них было создание машин непрерывного действия. Типичными представителями этого сословия являлись механические машины для решения задач высшей математики — интеграторы. Ко второму принадлежали машины прерывного (дискретного) счета, или цифровые машины. И старинная машина Паскаля и нынешний арифмометр — это члены семейства цифровых машин. По таким же двум самостоятельным путям и пошло развитие электрических счетных машин.

МАШИНЫ-МОДЕЛИ

Представьте себе, что вам необходимо исследовать, как протекает какой-нибудь физический процесс, а поставить опыт на действующей установке мы не имеем возможности. Как поступить в этом случае, что предпринять? Ответ ясен — надо построить модель установки и на ней исследовать ход этого процесса. Есть два пути построения такой модели.

Пусть требуется исследовать какие-то процессы в сложной электрической сети, состоящей из нескольких электростанций и линий электропередачи. В действительной, работающей сети экспериментировать не просто, а иногда и вовсе недопустимо. Значит, надо эти процессы как-то изобразить в миниатюре или промоделировать.

Такие модели электрических сетей, или, как их называют, расчетные столы, существуют теперь в большом количестве. Без них трудно было бы обойтись и исследователю и проектировщику, особенно в нашу эпоху — эпоху бурного развития энергетики. Разумеется, все интересующие исследователей операции в таких моделях совершаются с электрическими величинами: токами и напряжениями, но от истинных величин они отличаются масштабом. Ведь действительные величины обычно огромны — это десятки, а то и сотни тысяч вольт и многие сотни ампер.

В модели же стараются иметь дело с очень маленькими величинами.

В расчетном столе, как правило, несколько моделей генераторных станций, десятки моделей высоковольтных трансформаторов, многочисленные модели линий электропередачи. Расчетный стол обязательно снабжается точными измерительными приборами. Оператор с помощью специальных проводов может собрать любую интересующую его схему, а посредством рукояток заставить генераторные станции отдавать требуемую мощность. Оператор также имеет возможность изменять величины, характеризующие трансформаторы и линии. После включения расчетного стола в работу он снимает по приборам шаг за

шагом кривую интересующего исследователя процесса.

Здесь электрическая величина была изображена такой же электрической величиной, но в другом масштабе. Такое моделирование получило название физического. Но есть и другой путь — путь математического моделирования.

В чем же отличие этого пути от первого? Да в том, что теперь величина, изображающая другую — «настоящую», — имеет совсем иную физическую природу, и сходство между ними только математическое.

В основе действия математических машин-моделей лежат важные законы подобия или сходства разнообразных физических явлений и процессов. Это сходство проявляется удивительным образом в том, что многие различные по своей физической сущности явления описываются одними и теми же математическими уравнениями.

Владимир Ильич Ленин указывал, что в этом проявляется великое единство законов природы. Одинаковыми уравнениями, например, описываются распределение электрического тока в разветвленной сети и протекание воды по сходной системе труб. Колебания груза на пружине и колебание электрического тока в контуре, состоящем из катушки и конденсатора, также изображаются одинаковыми по своему виду уравнениями. И таких примеров можно было бы привести множество.

Часто бывает невозможно исследовать процесс на физической модели. Когда конструкторов нового самолета начинают интересовать качества их будущего детища, по их заказу строят небольшую модель этого самолета и испытывают ее в аэродинамической трубе. Здесь создают такие же условия, как и в полете, и получают нужные сведения об ожидаемых свойствах крыльев, фюзеляжа, рулей. Это пример физического моделирования.

Но вот понадобилось выяснить, как будет вести себя самолет в полете при управлении им с помощью автоматических устройств. Не будет ли он рыскать около курса или отклоняться от него? Следует ли и в этом случае создавать физическую модель? Нет, не

ВРАДТЕО
№ 2321

следует. Ведь в этом случае пришлось бы строить летающую модель самолета и разрабатывать автоматические устройства в уменьшенном виде. Все это обошлось бы очень недешево, а полноценного ответа на многие вопросы конструкторы так и не получили бы.

Пожалуй, лучше было бы описать поведение сложной системы, состоящей из самолета и приборов, автоматически управляющих его полетом по заданному курсу, на каком-то языке, общем для всех ее частей. Такой общий язык существует. Это язык математики. Ученые и инженеры широко применяют его в своей работе.

Но это очень трудная задача. В самом деле, составили математические выражения для самолета и для автоматического устройства — автопилота. Потом свели эти выражения в одно уравнение, в котором учтены все силы, действующие на самолет в полете. Получилось громоздкое уравнение, и стало ясным, что для его решения необходимо очень много времени. Но это еще полбеды. Когда самолет движется, меняются не только силы, действию которых он подвергается, — могут меняться и некоторые коэффициенты. А это значит, что придется решать множество вариантов одной и той же задачи.

С подобными же трудностями встречаются не только авиастроители, но и специалисты других отраслей. Еще совсем недавно, каких-нибудь десять — двадцать лет назад, такие задачи приходилось решать вручную. На это тратилась уйма человеческого времени.

А нельзя ли поручить каким-либо автоматическим устройствам выполнять эту трудоемкую и нудную работу. Оказалось, можно. Попробуем разобраться в том, как это делается. Напишем простое уравнение, например

$$Ax^2 + Bx = Cy.$$

A, B, C — это множители, коэффициенты. Величина их зависит от конструкции исследуемой машины или аппарата; y — это какая-то переменная величина, например сила, действующая на аппарат. Переменная величина x — это результат действия силы.

681156

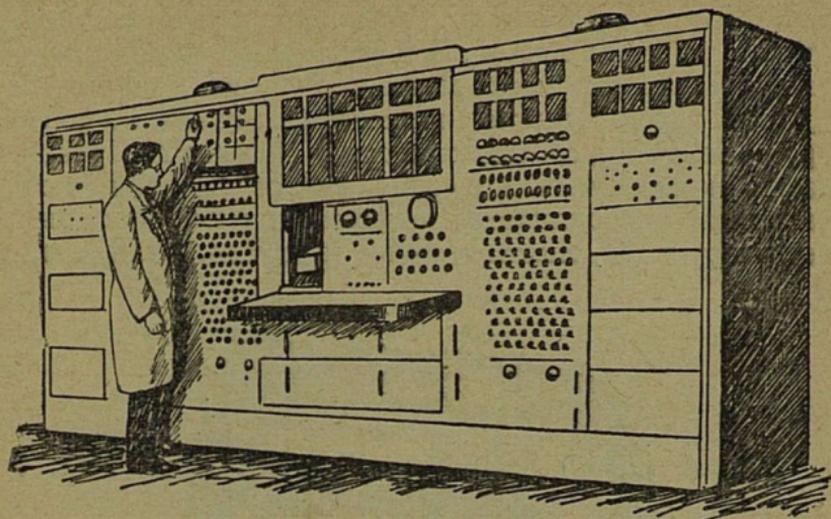
Российская государственная
детская библиотека

Хотите решить это уравнение? Подставьте в него разные величины y и посчитайте, какие при этом будут x . Можно воспользоваться и другими приемами решения, но чем сложнее будет уравнение, тем больше времени придется затратить, чтобы получить ответ.

Решение задачи можно намного ускорить, если применить математическую модель. Пусть в действительном процессе участвовали различные силы: вес, давление, сила тяги и многие другие. Все они имели разный физический характер. Но как только эти силы попали в уравнение, так сразу же оказались «одетыми в одну форму» — математическую.

Знаки и буквы не заставишь складываться или перемножаться в реально существующей машине. Это ведь только знаки и буквы. Значит, все величины из нашего уравнения надо изобразить с помощью какой-то одной физически существующей, осязаемой силы. Удобнее всего для этого применять электрические напряжения. Но ведь переменные величины и в ходе процесса, и в его математическом изображении как-то действуют друг на друга: складываются, вычитаются, перемножаются и т. д. Значит, и в нашей математической модели электрические напряжения должны взаимодействовать по такому же закону и в строго заданном масштабе. Это и есть основная идея электрических моделирующих вычислительных машин. На этом же принципе строились механические моделирующие машины, такие, как машина А. Н. Крылова, интегратор Энергетического института Академии наук СССР и многие другие.

Что же мы найдем в любой моделирующей машине? Из чего она состоит? Прежде всего каждая величина, которая участвует в исследуемом процессе, должна быть изображена в виде электрического напряжения. Это вы уже знаете. Далее, в ней обязательно содержатся многочисленные устройства, выполняющие математические действия над электрическими напряжениями. Здесь мы найдем сумматоры, вычитающие и множительные устройства. В машине их может быть до пятидесяти. Существуют устройства, берущие логарифм от какой-либо вели-



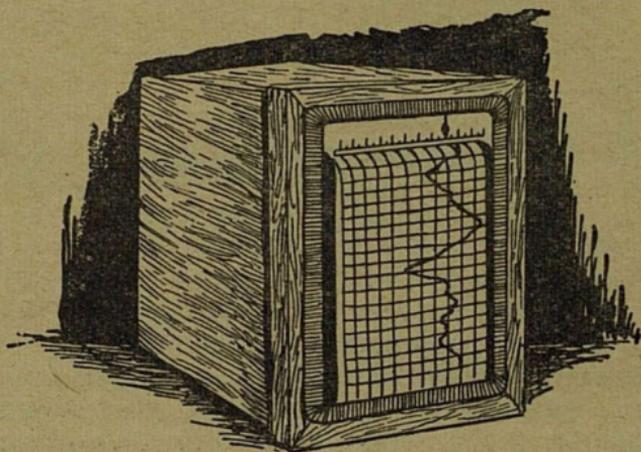
Электронная моделирующая машина.

чины. Если понадобится, можно получить синус, косинус и т. д. Затем в машине есть устройства, изображающие знак равенства.

В моделирующей машине, когда она не работает, отдельные устройства не соединены друг с другом. Необходимые соединения делаются перед расчетами. Вы знаете, что в алгебраическом уравнении перед неизвестными величинами стоят численные множители — коэффициенты. В вычислительной машине обязательно имеются рукоятки или переключатели для установки этих коэффициентов. Ими-то и задаются масштабы величин. Предположим, при решении задачи изменились ее условия. Трудно ли это отразить на машине? Очень просто. Достаточно определенным образом повернуть рукоятки или переставить штекеры.

Еще один немаловажный вопрос: в каком же виде машина дает результат решения задачи? Разумеется, в виде изменяющегося электрического напряжения. А это напряжение, в свою очередь, можно удобно записывать с помощью специального прибора — самописца, который изображает решение задачи в виде кривой линии на бумажной ленте. Но этого недостаточно, весь ход решения можно наблюдать на экране осциллографа — прибора, который во многом напоминает обычный телевизор.

Сложно ли работать с моделирующими машинами? Нет, очень просто. И в этом заключается важное достоинство таких машин. Что же приходится делать перед решением какой-либо задачи оператору — человеку, обслуживающему машину? Прежде всего в соответствии с ее условиями он должен соединить проводниками отдельные узлы машины: суммирующие, множительные и другие. Нельзя за-



Измерительный прибор — самописец.

быть и о коэффициентах. Как они устанавливаются, вы уже знаете. Теперь машина готова к решению задачи. Дальше — нажатие на пусковую кнопку, и вот уже бесшумно совершается процесс решения, ход которого при желании можно видеть на экране осциллографа. А самопишущий прибор, четко выполняя свои обязанности, уже пишет ответ. Так работает обычная электронная моделирующая машина. Часто бывает, что для исследования какого-нибудь процесса нет смысла занимать большую моделирующую машину с многочисленными узлами. Тогда из подручных средств строят специальную электрическую модель процесса. Это можно сделать быстро и дешево, так как под рукой всегда найдутся необходимые электрические детали.

В пору своего детства машины-модели были сильно насыщены разнообразными электромехани-

ческими элементами: моторчиками, реле, электромагнитами. Поэтому они не могли работать быстро. С тех пор многое изменилось. Вычислительные машины ныне завоеваны электроникой — техникой применения электронных ламп. Вы, наверно, уже знаете, что электронный ток в таких лампах практически не обладает инерцией. Он не только течет с огромной скоростью, но может также стремительно изменять свою величину. Значит, машина, построенная на основе электронной техники, способна работать баснословно быстро. И действительно, существуют моделирующие вычислительные машины на электронных лампах, которые за одну секунду в состоянии дать до ста решений сложной задачи.

Естественно напрашивается вопрос, можно ли моделирующую машину назвать думающей?

Ответ приходится дать отрицательный — эти машины все-таки нельзя считать думающими, хотя они и способны решать очень сложные задачи. Тогда нужно ли было тратить столько времени на рассуждение о моделирующих машинах, если они даже под название книги не подходят? Я думаю, что это нужно было сделать хотя бы по двум причинам: во-первых, вы познакомились с интересной отраслью вычислительной техники, которая продолжает развиваться; во-вторых, получив представление о машинах-моделях, вы лучше оцените «выдающиеся способности» цифровых машин, о которых скоро пойдет речь.

Но все ли так хорошо в моделирующих машинах или, быть может, у них есть какие-нибудь недостатки? Ответ может быть только один: да, есть, и немало. Прежде всего, даже на большой моделирующей машине можно решать далеко не все задачи, которые возникают на практике. Кроме того, недостаточная точность машин-моделей не всегда может устроить исследователей, а повышать точность становится все труднее и труднее.

Вспомните о том, что в такой машине мы имеем дело с напряжениями различной величины. Если любое из них изменится не потому, что с ним совершается математическая операция, а вследствие непостоянства источника напряжения или по каким-

нибудь другим причинам, то возникает погрешность. Полностью уничтожить такие погрешности не удается никакими ухищрениями.

И все же не следует еще хоронить моделирующие машины. Там, где с их недостатками можно мириться, они пока незаменимы. Многие специальные вычислительные машины, или, как их еще называют, счетно-решающие устройства, несложны и неприхотливы и по-прежнему остаются полезными помощниками людей.

РЕВОЛЮЦИЯ В МИРЕ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Но как же быть в тех случаях, когда требуется решать самые разнообразные задачи и с высокой точностью? А таких задач в наш век — век авиации, радио, электричества и атомной энергии — возникает все больше и больше.

Учеными и инженерами был найден ответ. Были созданы *быстродействующие автоматические электронные цифровые вычислительные машины с программным управлением*. Я умышленно перечислил все «титулы» этого замечательного творения человеческого ума. Каждое из этих слов имеет свой глубокий смысл, который я постараюсь раскрыть дальше. Ну, а теперь мы будем называть эти машины проще, например цифровыми.

Создание цифровых машин после машин моделирующих явилось важным скачком вперед. Можно с уверенностью ожидать, что их дальнейшее развитие вызовет подлинный переворот во многих областях человеческой деятельности.

Вправе ли мы утверждать, что цифровые машины возникли на пустом месте, что это — достижение немногих выдающихся умов? Конечно, нет. Основы цифрового, или, как еще говорят, дискретного, счета были известны давным-давно. Вы уже знаете, что многочисленные изобретатели, начиная с Паскаля, создавали именно машины дискретного счета, то есть машины, оперировавшие с цифрами. И нынешние счетно-аналитические машины также принадлежат к семейству цифровых. Но ни в какое

сравнение с современными электронными цифровыми машинами они не могут идти!

В предыстории этих машин, пожалуй, особенно важными были три вехи. Первой из них явилось изобретение и усовершенствование перфокарт и разработка способа управления работой машин с их помощью. Второй вехой было создание электронных счетных схем. И, наконец, третья — скромное предложение, сделанное почти одновременно американским математиком фон Нейманом и французским инженером Куффиньялем, — применять в счетных машинах двоичную, а не десятичную систему счисления. На фоне многих блестящих достижений разных отраслей техники за последние десятилетия эти три события казались незначительными, второстепенными. Электронные счетные схемы были созданы еще на заре электроники в 20-х годах нашего века и предназначались исключительно для счета мельчайших заряженных частиц в физических исследованиях. Долгие годы, почти два десятилетия, никому в голову не приходило по-настоящему применить их в счетных машинах. Да и о создании электрических цифровых машин не помышляли до тех пор, пока в 1936 году не родилась идея применить вместо десятичной двоичную систему счисления. И тут обнаружилось, что у электромагнитных реле, и тем более у электронных счетных схем, имеются очень ценные свойства. А ведь раньше эти элементы для счетной техники казались совсем бесполезными.

И вот соединение нескольких идей, внешне в отдельности ничего выдающегося не представлявших, дало замечательный результат — были созданы электронные цифровые машины. Эти машины по своему возрасту еще очень молоды: ведь первая из них вступила в строй только в 1946 году. Но уже сейчас мы вправе говорить о «выдающихся способностях» цифровых машин.

Вы, конечно, еще не забыли об ограниченных возможностях машин-моделей. И как бы в укор им уже первые цифровые машины были созданы именно как универсальные, как машины, которым можно поручить решение любой сложной задачи.

Но как обстоит здесь дело с точностью? По этому поводу также можно не беспокоиться. Высокая точность лежит в самой сущности дискретного, цифрового, счета.

Чтобы вам это было понятно, напишем какую-нибудь десятичную дробь — например, 0,3945. Можем ли мы изобразить это число в некоторой воображаемой счетной машине? Да, можем, лишь бы в этой машине были предусмотрены необходимые для каждого разряда элементы. Для простоты представим себе, как изобразится эта дробь с помощью старинных зубчатых колес, подобных тем, какие были в машине Паскаля. Очевидно, нам потребуются колеса десятых, сотых, тысячных и десяти тысячных долей. Напомню вам, что каждое колесо должно иметь десять зубцов, каждый из которых означает единицу своего разряда.

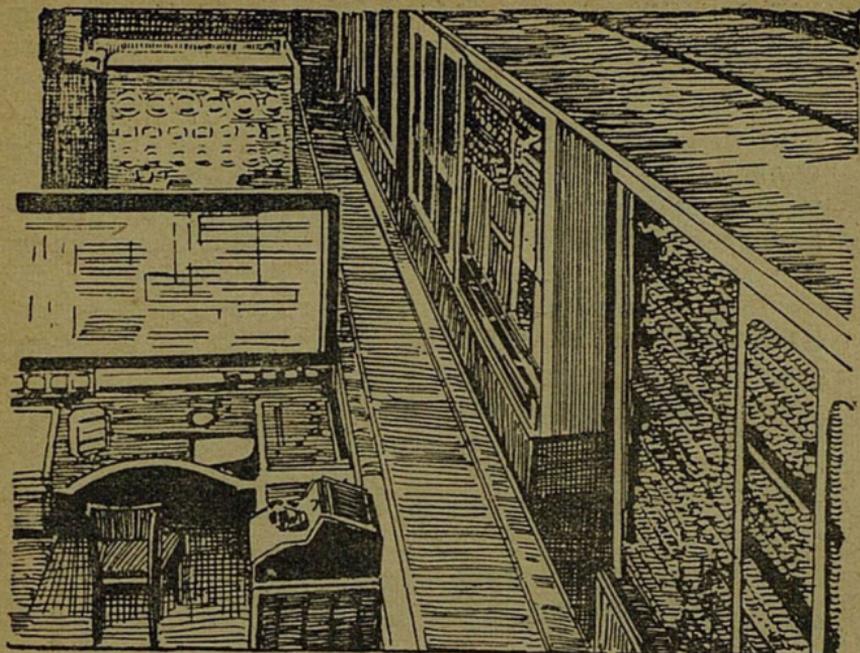
Но как быть, если нам захочется изобразить дробь с большим числом знаков, то есть с большей точностью — например, такую: 0,39458011? Очень просто. Придется в машину добавить еще четыре колеса, последнее из которых будет отсчитывать уже стомиллионные доли. Значит, от цифровой машины можно получить практически любую точность, а платой за эту точность будет увеличение числа ее элементов.

В современных цифровых машинах такие колеса были бы, конечно, абсурдом. На смену им пришли электронные счетные схемы. Но и здесь высокая точность достигается тем, что конструкторы машин заранее снабжают машины достаточно большим числом ячеек. Конечно, при этом они не гонятся за ненужной сверхточностью.

Этот вопрос продуман, и современные машины отвечают тем разумным требованиям, которые предъявляет им практика.

Итак, решение любой по трудности задачи с любой желаемой точностью — вот на что способна электронная цифровая машина.

Борьба за универсальность и высокую точность в первую очередь привела к созданию больших цифровых машин. И для того чтобы такая машина не спасовала перед задачей любой трудности, ее прихо-



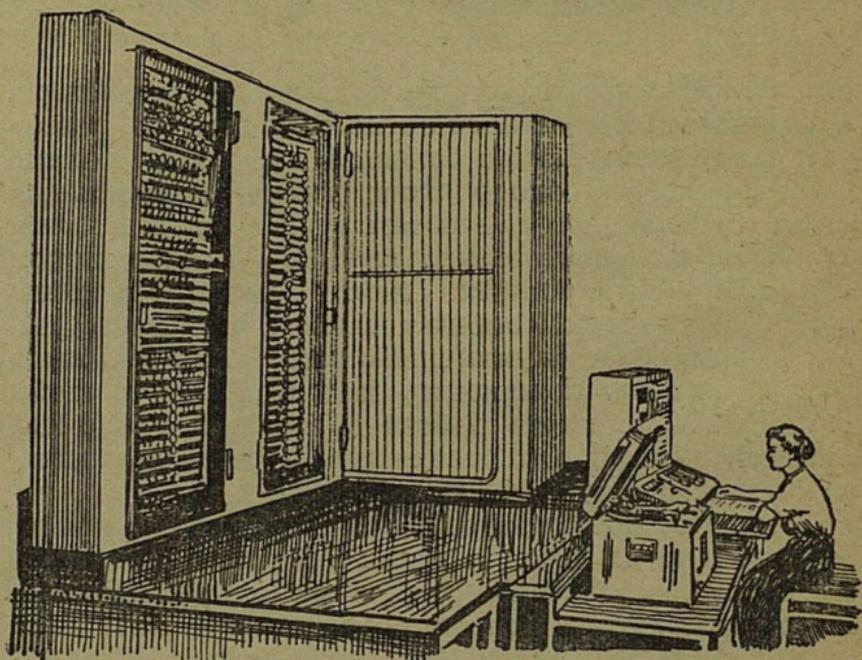
Электронная цифровая машина «БЭСМ».

дилось насыщать огромным количеством элементов. В результате получалось очень солидное по размерам сооружение. Так, в большой цифровой машине устанавливается около пяти тысяч электронных ламп и многие десятки тысяч других радиодеталей. В первой из электронных машин — американском ЭНИАКе — электронных ламп было... восемнадцать тысяч штук! Большая машина для своего размещения требует «приличный» зал в 150—200 квадратных метров. И, наконец, только для того, чтобы охлаждать машину в работе (а греется она очень сильно), необходима специальная установка, которая весит многие десятки тонн.

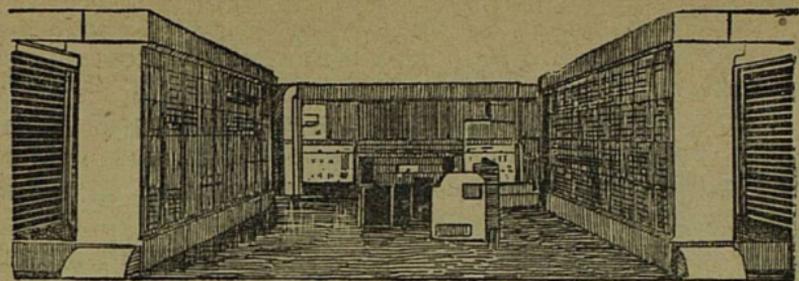
Универсальные цифровые машины появились теперь во многих странах мира. Разумеется, есть они и у нас в Советском Союзе. Две машины были созданы и уже ряд лет успешно работают в Академии наук СССР. Первая из них, получившая название «БЭСМ» (большая электронная счетная машина), завоевала признание среди европейских специалистов

как одна из самых быстродействующих. Вторая машина, носящая название «М-2», имеет меньшие по сравнению с первой размеры и действует немного медленнее, но отличается рядом важных технических достоинств. Наша промышленность выпустила несколько больших машин типа «Стрела» и теперь налаживает серийный выпуск машин марки «Урал», которые будут очень удобны для инженерных расчетов на производстве и в научных учреждениях.

Промышленность, авиация, флот, различные хозяйственные организации и, конечно, научные институты крайне нуждаются в вычислительных машинах. И эта потребность будет расти из года в год. Многие люди, правда, еще не задумываются над тем, что сулит применение цифровых машин. А кое-кто даже и не знает о существовании этих могущественных вычислительных средств. Канцелярия с несколькими десятками людей, щелкающих на счетах и «стреляющих» на арифмометрах, — это, к со-



Малогабаритная электронная цифровая машина «М-2».



Электронная цифровая машина «Стрела».

жалению, еще совсем обычная картина. Но пройдет еще несколько лет, и можно не сомневаться, что многое изменится, и весьма существенно. Не случайно XX съезд КПСС принял важное решение о мощном развитии производства вычислительных машин и об их внедрении в народное хозяйство.

Часто задачи, которые приходится решать на практике, не слишком сложны. Важно лишь решать их быстро и точно. Неужели и в этих случаях надо обращаться к большим вычислительным машинам? Вообще, всюду ли нужны именно большие машины? Конечно, нет. Большие машины дороги, сложны, требуют заботливого ухода, да и места занимают чересчур много.

И неспроста в наши дни появилось большое количество самых разнообразных специализированных машин средних размеров. Они намного дешевле, проще и компактнее, чем универсальные большие машины. В мире насчитывается уже более двух тысяч специализированных машин, а их производство разворачивается все шире и шире. Что означает факт существования двух тысяч вычислительных машин? Ответ нетрудно найти. Имейте в виду, что электронная машина считает в десятки тысяч раз быстрее, чем человек с арифмометром. Значит, несколько миллионов людей уже освобождено от однообразной, утомительной счетной работы. Теперь их можно использовать на других работах. Вы понимаете, как это важно для ускорения развития производства и улучшения жизни людей!

И вот здесь снова проявляется различие между судьбами людей в нашем, социалистическом обществе и в государствах капиталистических.

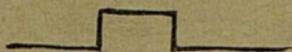
Работник, вытесненный вычислительной машиной в капиталистической стране, очень часто не может найти работу. Эта машина угрожает не только счетоводу и бухгалтеру, но и заводскому рабочему. Ведь цифровые машины начинают применять непосредственно на производстве. На автомобильном заводе Остина в Англии не так давно установили автоматический сборочный конвейер. Операции на этом конвейере стали выполняться при помощи цифровых устройств с перфокартами. Производительность труда на заводе настолько возросла, что заводская администрация постаралась поскорее уволить большое количество рабочих. В ответ на это вспыхнула первая в истории забастовка протеста против автоматизации, против управляющих машин.

В странах социалистических, где господствует плановое хозяйство, ни автоматизация, ни вычислительные машины никому не угрожают. Это помощники, а не враги. Человек, замененный машиной, получит новую работу, нужную не только ему, но и обществу.

ИМПУЛЬСЫ И ЦИФРЫ

Как же работают цифровые машины? Что в них происходит? Почему их называют думающими? Попробуем ответить на эти не очень простые вопросы. Мысленно возвратимся к моделирующей машине и вспомним, что электрические напряжения в ней все время существуют и меняются более или менее плавно. Если бы мы заглянули внутрь цифровой машины (не удивляйтесь, это можно сделать с помощью уже известного нам осциллографа), то обнаружили бы совсем иную картину. Здесь мы не нашли плавно меняющихся напряжений. Все основные операции в такой машине совершаются посредством электрических импульсов, иначе говоря, быстрых скачков напряжения. Представьте себе, что из одной части машины в другую потребовалось бы передать цифру «1». Как это сделать? Очень

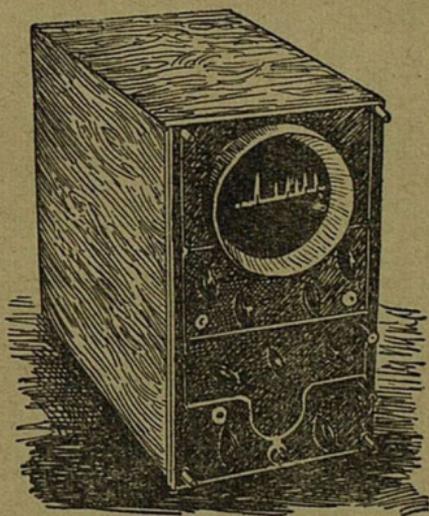
просто — надо послать электрический импульс, график которого имеет такой вид:



До возникновения импульса и после его окончания напряжение фактически равно нулю. А существует это напряжение ничтожно малое время. В машине встречаются также напряжения другого вида — это импульсы, ступеньки. Вообразите, что нам необходимо запомнить полученную ранее единицу. Для этого понадобится такое несложное устройство: до прихода в него нашей единицы оно имело некоторое низкое напряжение. Это означает, что сигнал в нем не хранится. Но вот пришел импульс единицы, напряжение скачком поднялось и осталось на высоком уровне. Теперь единица хранится в памяти.

Зачем понадобилось иметь дело с подобными импульсами? Ведь их необходимо специально вырабатывать — формировать. А вот зачем. Электрические импульсы в машине являются переносчиками цифр. Их роль такая же, что и у зубьев колес в механической счетной машине. И вот что особенно важно здесь. Нас не интересует величина импульса. Пусть «по дороге» он портится, искажается. Только бы мы смогли его уловить. А это задача нетрудная. Поэтому точность вычислений в цифровой машине не зависит от качества импульсов.

Каждый электрический импульс живет и обрабатывается в ма-



Электронный осциллограф.

шине ничтожно малое время — несколько миллионных долей секунды. Поэтому за одну только секунду в машине совершается огромное количество математических действий: тысячи и даже десятки тысяч.

Итак, с помощью электрических импульсов изображаются цифры и числа. Но каким же образом их считать, как выполнять арифметические операции? И здесь нам не миновать небольшой лекции по машинному языковедению.

Мир человеческих мыслей, мир слов чрезвычайно богат, хотя исходных букв, символов, в нем немного — всего лишь тридцать — сорок. Лексикон цифровой машины на первый взгляд совсем убогий: если сказать образно, в нем только два слова: «да» и «нет». Разумеется, эти слова в такой форме нигде в машине не записываются. Вместо них в виде электрических сигналов существуют единицы и нули. И, несмотря на кажущуюся скудость языка машины, ее возможности исключительно велики. Почему же? Потому, что эти единицы и нули можно брать в очень большом количестве и комбинировать из них самые разнообразные сигналы. Так в цифровых машинах сложился свой язык единиц и нулей, язык двоичной системы счисления.

Первым исследовал двоичную систему Лейбниц, который еще в 1703 году писал: «При сведении чисел к простейшим началам, каковы 0 и 1, всюду выявляется чудесный порядок...» Особенно восхищали Лейбница своей простотой правила двоичного сложения и умножения, с которыми вам еще предстоит познакомиться.

В нашей повседневной жизни мы привыкли вести счет, пользуясь десятичной системой. Многочисленные механические цифровые машины, начиная со счетчика Паскаля, также работали и работают в этой системе. Девять первых цифр в ней, каждая из которых имеет свое обозначение, составляют разряд единиц. Далее, с 10 до 99, следует разряд десятков, потом идет разряд сотен, и так далее. Мы так привыкли к десятичной системе, что она кажется нам наилучшей. Но умей электронная цифровая машина говорить, она воспротивилась бы такому мнению. Действительно, в распоряжении машины

только два знака: «0» и «1». Как же с помощью этих знаков изобразить, например, цифру «9» в десятичной системе? Ну, хотя бы с помощью девяти единичек:

1 1 1 1 1 1 1 1 1

А что даст нам для этой же цифры двоичная система? Ответ: 1001. Теперь вы сами видите, что в десятичной системе импульсные коды чисел оказываются намного длиннее, чем в двоичной. Значит, если бы мы применили десятичную систему, то при передаче они заняли бы больше времени и потребовали бы большего числа ячеек для запоминания. Ведь для каждого знака нужна своя ячейка. Так, в мире электронных машин десятичная система побеждается двоичной. В некоторых случаях, правда, применяют другой язык, например двоично-восьмеричный, двоично-пятеричный. Для этого есть свои причины, но мы не станем заниматься такими тонкостями, а подробнее познакомимся со свойствами двоичной системы.

Оказывается, с помощью таких простых знаков, как «1» и «0», можно изображать любые числа. Вот как это выглядит:

В десятичной системе		В двоичной системе
0		0
1	$= 2^0$	1
2	$= 2^1$	10
3		11
4 = 2·2	$= 2^2$	100
5		101
6		110
7		111
8 = 2·2·2 = 2 ³		1000
9		1001
и т. д.		и т. д.

Присмотритесь к этим столбцам, и вы увидите интересную закономерность: каждый раз, когда показатель степени двойки в левом столбце увеличивается на единицу, соответствующее двоичное изображение числа приобретает еще один разряд

($2^1 = 10$, $2^2 = 100$, $2^3 = 1000$ и т. д.). Заметьте также, что число нулей при единице в двоичном числе в этом случае равно показателю степени в его десятичном «близнеце». Вот эта простая зависимость позволяет составлять любые десятичные числа из двоек в различных степенях. А отсюда ничего не стоит получить их двоичный «портрет». Давайте попробуем теперь составить в двоичной системе какое-нибудь число — например, 13. Сначала напишем в столбец несколько следующих подряд степеней числа 2:

$$\begin{aligned} 1 &= 2^0 \cdot 1 = 1 \\ 2 &= 2^1 \cdot 1 = 10 \\ 4 &= 2^2 \cdot 1 = 100 \\ 8 &= 2^3 \cdot 1 = 1000 \end{aligned}$$

Сложим теперь числа в обоих столбцах и посмотрим, что это нам даст:

$$15 = 2^0 \cdot 1 + 2^1 \cdot 1 + 2^2 \cdot 1 + 2^3 \cdot 1 = 1111.$$

Получили двоичный «портрет» числа 15. Но ведь нас интересовало число 13. Значит, какое-то слагаемое из левого столбца придется умножить не на единицу, а на нуль, то есть попросту вычеркнуть. Сразу видно, что «жертвой» будет два в первой степени, без которого слева мы получаем как раз число 13.

$$\begin{aligned} 1 &= 2^0 \cdot 1 = 1 \\ 0 &= 2^1 \cdot 0 = 00 \\ 4 &= 2^2 \cdot 1 = 100 \\ 8 &= 2^3 \cdot 1 = 1000 \end{aligned}$$

Прежде чем складывать, давайте перевернем эти столбцы с «головы» на «ноги». Тогда старшие члены окажутся наверху:

$$\begin{aligned} 8 &= 2^3 \cdot 1 = 1000 \\ 4 &= 2^2 \cdot 1 = 100 \\ 0 &= 2^1 \cdot 0 = 00 \\ 1 &= 2^0 \cdot 1 = 1 \end{aligned}$$

Теперь сложим:

$$\begin{array}{rcccc} 13 = 2^3 \cdot 1 + 2^2 \cdot 1 + 2^1 \cdot 0 + 2^0 \cdot 1 = 1101. \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ 1 & 1 & 0 & 1 \end{array}$$

Посмотрите-ка, здесь стрелками вынесены множители при двойках с разными степенями. Оказалось, что эти множители как раз изображают число 13. Значит, правый столбец по сути и не был нужен. Здесь же он лишь помог нам проследить за всеми действиями. По такому же образцу нетрудно получить двоичное выражение любого интересующего нас десятичного числа. И каждый раз мы будем иметь дело с разными сочетаниями единиц и нулей.

Ну, а как обстоит дело с арифметическими действиями в двоичной системе? И здесь мы не встретим никаких затруднений: все чрезвычайно просто. Начнем со сложения. Вот все его правила:

$$0 + 0 = 0; 0 + 1 = 1; 1 + 0 = 1; 1 + 1 = 10.$$

Из этих четырех правил необычно выглядит только последнее. Но вспомните, что 10 — это не десять, а двоичное изображение числа 2. Значит, и здесь всё в порядке.

Попробуем применить на практике эти правила и сложим два каких-нибудь простых числа. Пусть это будут 6 и 7. Напишем в столбец эти числа в их десятичном и двоичном виде:

$$\begin{array}{r} 6 = 110 \\ 7 = 111 \end{array}$$

Теперь поочередно будем складывать члены правого столбца:

$$\begin{array}{r} \text{получим от сложения членов правого ряда} \quad 1 \\ \text{получим от сложения членов среднего ряда} \quad 10 \\ \text{получим от сложения членов левого ряда} \quad 10 \\ \hline 13 = 1101 \end{array}$$

Вот мы и получили ответ в уже знакомом нам виде.

Может быть, умножение окажется более трудным, чем сложение? Ничуть. При умножении двух двоичных чисел приходится множить либо на нуль, либо на единицу. Вы, конечно, сами догадываетесь, что это не потребует больших усилий ума. Действительно, вся двоичная таблица умножения запишется в одну строчку:

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

Попробуем для наглядности перемножить два

опять-таки небольших числа. Пусть это будут 5 и 6. Поступаем по обычным правилам арифметики и следим за тем, чтобы цифры стояли на своих местах:

$$\begin{array}{r}
 5 \quad = \quad 101 \\
 \times \quad \quad \quad * \\
 6 \quad = \quad 110 \\
 \hline
 \quad \quad \quad 000 \\
 \quad \quad \quad 101 \\
 \quad \quad 101
 \end{array}$$

Сложим теперь по вертикальным рядам согласно уже известным нам правилам сложения и получим:

$$30 = 11110.$$

Надо вам сказать, что цифровая машина умножает не так, как это делали мы. Присмотритесь к трем строчкам, в которые мы записали результат умножения на нуль и единицы. Оказывается, при умножении происходит простой сдвиг множимого. Если мы умножаем на единицу во втором разряде (она отмечена звездочкой), то множимое сдвигается так, чтобы его правый край оказался также во втором разряде. Умножение на нуль фактически никак не сказывается. Поэтому машина, производя умножение, сдвигает множимое столько раз, сколько это нужно, а потом все по-разному сдвинутые результаты складывает. Итак, сдвиг и сложение — вот и все, что требуется при умножении.

При создании цифровой машины не забывают о знаках «плюс» и «минус». Их также кодируют — зашифровывают с помощью тех же двух знаков, причем плюс обычно изображают нулем, а минус — единицей. Не спутает ли машина эти знаки с записью чисел? Ни в коем случае. Ведь для каждого знака заранее назначается определенное место, предусматривается своя ячейка. И код знака всегда стоит на первом месте.

Теперь несколько слов о вычитании и делении. Рассказ об этих действиях будет совсем коротким, так как наши двоичные упражнения и без того заняли немало времени. Вычитание числа можно представить, как прибавление этого же числа, но уже с обратным знаком. Значит, вместо вычитания мы снова получаем сложение. Правда, в таком случае

второе слагаемое оказывается отрицательным. Это отрицательное число необходимо как-то изобразить с помощью нулей и единиц, иначе говоря — закодировать.

И здесь на помощь приходит так называемый дополнительный код числа. Как его получить? Очень просто. В нашем двоичном вычитаемом нужно заметить все нули единицами, единицы — нулями, а к младшему разряду обязательно прибавить единицу. Для того чтобы вам стало понятно, как это делается, разберем один простой пример.

Нужно из 9 вычесть 4. Ответ в десятичной системе мы напишем не задумываясь: 5. Вы уже знаете, что в двоичной системе пятерка имеет вид 101. Запомним это число — оно пригодится потом для проверки. А теперь произведем вычитание в двоичной системе, применяя дополнительный код. Сначала вспомним, что

$$\begin{array}{l} 9 \text{ в двоичной системе равно } 1001 \\ 4 \text{ в двоичной системе равно } 0100 \end{array}$$

Далее запишем эти числа вместе с кодами знаков:

$$\begin{array}{l} + 9 \text{ будет иметь вид } 01001 \\ - 4 \text{ будет иметь вид } 10100 \end{array}$$

Во втором двоичном числе заменим нули единицами, а единицы нулями:

$$01011$$

Прибавим единицу к младшему разряду этого нового числа:

$$\begin{array}{r} + 01011 \\ \quad \quad 1 \\ \hline 01100 \end{array}$$

Вот мы и получили дополнительный код числа. Заметьте, он положительный. Теперь осталось сложить по хорошо известным вам правилам:

$$\begin{array}{r} \text{уменьшаемое} \qquad \qquad \qquad 01001 \\ \text{дополнительный код вычитаемого} \quad 01100 \\ \hline 00101 \end{array}$$

Единичка, которая получилась бы при сложении старших разрядов, во внимание не принимается. Она лишняя. К коду знака прибавлять ее нельзя, да и в машине для нее не найдется места.

Итак, мы имеем 00101

↑
знак +

А это и есть двоичное изображение числа +5.

Справляется ли машина с задачей получения дополнительных кодов чисел? Справляется, и без особого труда. Ведь для того, чтобы заменить все единицы нулями, а нули единицами, достаточно, например, переключить из одного состояния в другое те ячейки, те электронные реле, в которых хранятся разряды числа.

Ну, а как обстоит дело с делением? Деление сводится к сдвигу делителя и к сложению чисел в дополнительном коде. Каков же итог всех наших рассуждений? Итог важный и интересный! Машина должна уметь только складывать и сдвигать числа. А к этим простейшим операциям можно свести все более сложные математические действия.

Нельзя не упомянуть еще об одной особенности машинного языка. В цифровых машинах по ряду причин предпочитают иметь дело с числами меньше единицы, то есть с двоичными дробями. Это, в частности, намного облегчает и конструирование машины и работу на ней. Поэтому перед решением задачи ее обрабатывают таким образом, чтобы соблюдалось это правило.

Но прежде чем привести пример такой обработки, посмотрим, как выглядят и как получаются двоичные дроби. Вспомним, что:

в десятичной системе

0
1 = 2⁰
2 = 2¹
4 = 2²
8 = 2³
16 = 2⁴
32 = 2⁵

в двоичной системе

0
1
10
100
1000
10000
100000 и т. д.

А как будут выглядеть двоичные дроби? Вот как:

0	0
$1 = 2^0$	1
$\frac{1}{2} = 2^{-1}$	$0,1$
$\frac{1}{4} = 2^{-2}$	$0,01$
$\frac{1}{8} = 2^{-3}$	$0,001$
$\frac{1}{16} = 2^{-4}$	$0,0001$
$\frac{1}{32} = 2^{-5}$	$0,00001$ и т. д.

Теперь попробуем на языке двоичной системы — на языке единиц и нулей — изобразить какую-нибудь дробь, например $-\frac{7}{32}$. Вспомним, что 7 в двоич-

ной системе имеет вид 111, а дробь $\frac{1}{32}$ изображается

единицей в пятом разряде. Вот и получается, что $\frac{7}{32}$

после двоичной обработки будут выглядеть, как 0,00111. Однако нуль перед запятой не кодируют вообще, а вместо него ставят код знака. Пусть в нашем случае это будет минус. Запятую же не изображают, а воображают. В результате $-\frac{7}{32}$ превращается в

такое сочетание нулей и единиц: 100111. Вот как будет выглядеть, например, двоичный «портрет»

дроби $+\frac{5}{16}$:

00101
↑
знак+

Попробуйте сами разобраться в том, как эта дробь получилась.

Теперь вам, наверно, понятно, как получаются и какой вид имеют двоичные дроби. Кстати, во всех таких дробях знаменатель представляет собой число 2 в какой-либо степени. Как же изобразить некоторое целое число с помощью правильной двоичной дроби?

Решим сначала для наглядности пример в десятичной системе. Пусть нам дали число 731 и попросили изобразить его с помощью правильной десятичной дроби и еще какого-нибудь множителя. Мы не задумываясь напишем:

$$0,731 \cdot 10^3.$$

Ясно, что если все числа, которые мы ввели бы в машину, имели множитель 10^3 , то с ним ничего не пришлось бы делать, а следовало запомнить до окончания расчетов. Правда, то же число можно изобразить так:

$$0,0731 \cdot 10^4, \text{ или } 0,00731 \cdot 10^5 \dots$$

Математики выбирают положение запятой в зависимости от характера задачи и свойств машины.

А теперь сделаем подобный пример в двоичной системе. Пусть нам дали число 53 и предложили изобразить его в виде двоичной дроби и еще некоторого «довеска». Прделаем эту операцию шаг за шагом.

Прежде всего составим число 53 из двоек в различных степенях:

$$53 = 32 + 16 + 4 + 1 = (2^5 + 2^4 + 2^2 + 2^0).$$

Разделим обе части равенства на число 64, то есть на 2^6 . Оно представляет собой следующий за 2^5 двоичный разряд. Если бы мы разделили на 32, дробь в правой части получилась бы неправильная. Итак, делим:

$$\frac{53}{64} = \frac{32 + 16 + 4 + 1}{64},$$

или

$$\frac{53}{64} = \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{16} + \frac{1}{64}.$$

Умножим обе части равенства на 64, чтобы снова выделить интересующее нас число 53:

$$53 = \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{16} + \frac{1}{64} \right) \cdot 64.$$

Обратимся теперь к таблице двоичных дробей и снова пустим в ход наши единицы и нули.

В десятичной системе	В двоичной системе
$\frac{1}{2}$	0,1
$\frac{1}{4}$	0,01
$\frac{1}{16}$	0,0001
$\frac{1}{64}$	0,000001

Сложим строки правого столбца: 0,110101. Это и есть двоичное изображение суммы дробей, которые стоят в скобках. Вспомним также, что $64 = 2^6$. Но в двоичной системе 2 изображается с помощью нулей и единиц как 10, а 6 приобретает вид 110.

Теперь мы можем окончательно записать наше число 53 с помощью правильной двоичной дроби и двоичного множителя:

$$53 = 0,110101 \cdot 10^{110}.$$

Так обычное десятичное число мы превратили еще в одну комбинацию нулей и единиц. Примерно такой обработке и подвергаются числа прежде, чем машина начнет считать.

Теперь вы уже воочию убедились в том, что любые числа и знаки «живут» в машине только в виде единиц и нулей, в виде электрических импульсов или их отсутствия. Таков ее лаконичный и мудрый язык.

Тут вполне законным может быть еще один вопрос. Четырьмя действиями арифметики никого не удивишь. А вот как машина справляется с более сложными действиями, например с извлечением корней, логарифмированием и т. п.? Не беспокойтесь, и с этими «вещами» машина отлично справляется. В математике уже давно известны численные способы выполнения разных сложных действий. Смысл этих способов прост: любое действие получается в результате сложения, вычитания, умножения и деления чисел по определенным правилам. И этот результат может быть сделан сколь угодно близким к истинной величине.

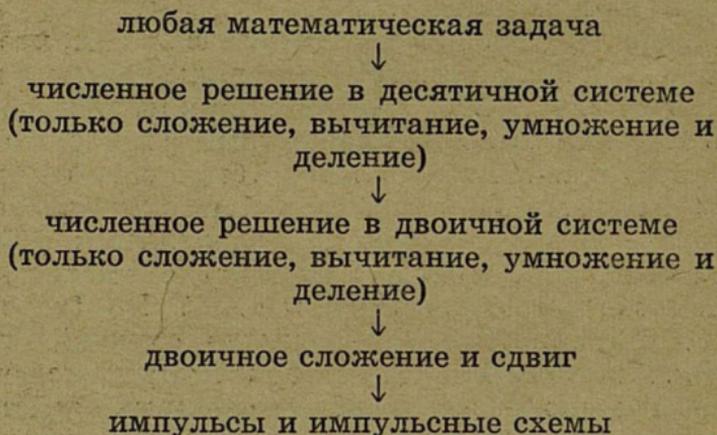
К простым арифметическим действиям сводятся

самые сложные задачи высшей математики. На этот счет давно уже позаботились специалисты, которые создали множество приемов численного решения задач.

Цифровые машины с успехом справляются и с такими задачами, какие до сих пор люди вообще не брались решать. Здесь у вас может возникнуть вопрос: что же, машина умнее человека? Конечно, нет, об этом не может быть и речи.

Просто многие сложные задачи можно было бы решить по так называемому методу последовательного приближения. Сначала находят какое-нибудь очень приблизительное решение задачи. Используют его и решают задачу еще раз. Результат получается немного точнее. Многократно повторяя этот прием, с каждым разом все больше уточняют решение. Человек считает медленно, поэтому от применения этого метода обычно приходилось отказываться. Зато машина действует в десятки тысяч раз быстрее, чем человек с арифмометром. Значит, ей можно поручить решение самых длинных задач. Она «разделается» с ними достаточно быстро.

Все, о чем я только что рассказал, можно собрать в такую поучительную табличку:



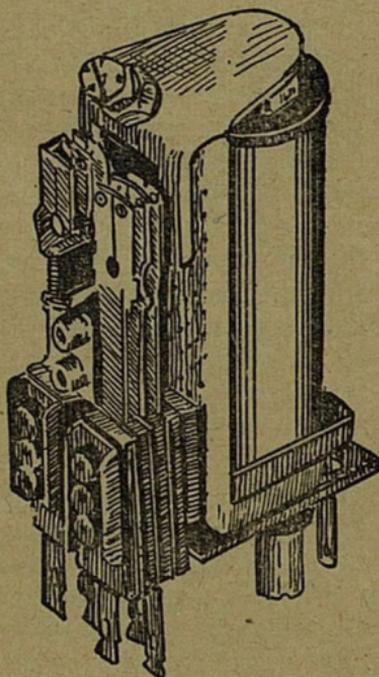
Так любая по сложности задача раскладывается на множество простейших операций над электрическими нулями и единицами. В этом и заключается глубокий смысл работы цифровой машины.

ОТ ИМПУЛЬСОВ К АРИФМЕТИКЕ И... ЛОГИКЕ

Но вот задача сведена к действиям над электрическими «да» и «нет». Какие же устройства в машине выполняют эти действия? Ясно, что здесь нужны такие именно устройства, которые способны отвечать на эти «да» и «нет». Иными словами, оперировать с импульсами должны устройства с двумя устойчивыми состояниями. Пришел, например, в такую схему электрический импульс, она сработала — сказала свое «да», пропал импульс — она перебросилась в противоположное состояние: «нет». Электротехника и электроника позаботились о том, чтобы обеспечить вычислительные машины подобными устройствами.

Прежде всего, пожалуй, мы вспомним про электромагнитное реле — прибор, который теперь известен многим. Это электромагнит с подвижным стальным якорем. Когда в катушку реле поступает электрический сигнал, оно срабатывает — притягивает якорь и замыкает или размыкает контакты. Исчез сигнал — якорь отпадает и контакты опять переключаются. Электрические «да» и «нет» реле дает нам именно с помощью контактов. Мало того, реле можно включить таким образом, что сработает оно даже от короткого импульса, но якорь свой потом долго не отпустит. Значит, в этом случае оно запоминает единицу.

Недолго такие реле находили себе применение в цифровых машинах: работают они не спеша, а значит, и машина, содержащая реле, получилась медленнодействующей. Вот тут-то и пришлось подумать о применении электронных реле, которые действовали бы подобно электромагнит-



Электромагнитное реле.

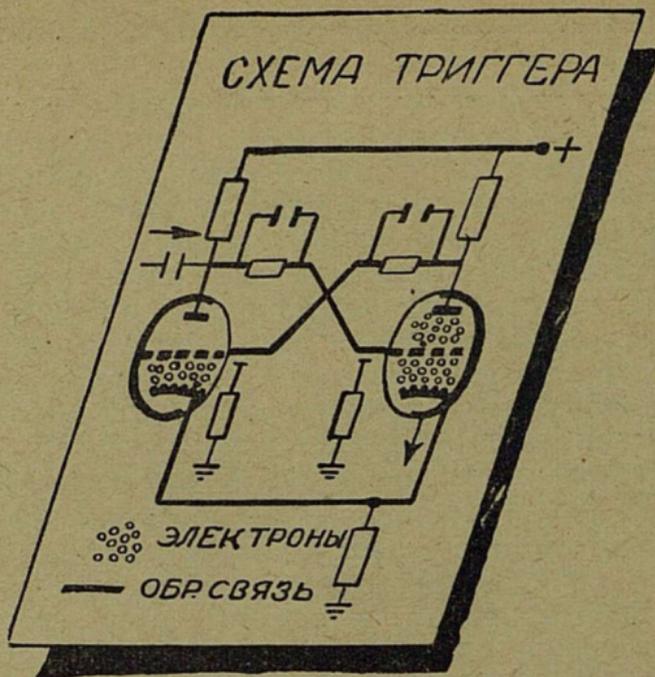


Схема электронного реле — триггера.

ным, но были бы в тысячи раз проворнее их. И такие реле были созданы в большом «ассортименте» еще задолго до появления цифровых машин. Вы можете иногда встретить необычно звучащее слово «триггер». Не удивляйтесь — это уже прижившееся название электронного реле. В цифровой машине триггер — важный элемент, ибо из триггеров построены очень многие ее узлы. Один триггер может запомнить только одну двоичную цифру: электрическую единицу или электрический нуль. Но каждое двоичное число состоит из многих единиц и нулей. Поэтому из отдельных триггеров составляют целые цепочки — регистры.

Есть в цифровой машине еще очень важные устройства, без которых машина не могла бы работать. Это схемы для логических операций, логические схемы. Не правда ли, название внушительное? Сразу пытаешься вообразить какие-то сверхсложные приборы, в которых из электричества рождается мысль, которые дают логические ответы на все вопросы жизни.

Разочарую вас: логические схемы цифровой машины крайне несложны. От них вовсе не требуется способностей человека, и хоть обязаны они выполнять именно логические операции, но лишь самые простые. А объектом этих операций опять-таки оказываются наши электрические импульсы.

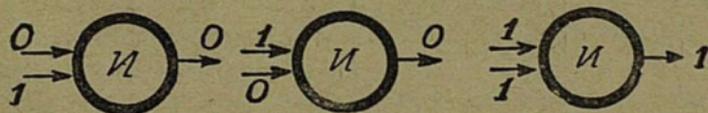
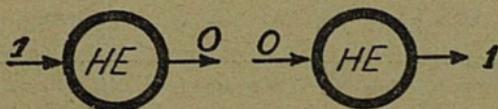
Что же это за логические операции?

Прежде всего, логическая операция «или». Схема, выполняющая эту операцию, обязана действовать так: на выходе схемы сигнал возникает при поступлении импульса или на один вход, или на другой, или на оба сразу.

Вторая логическая операция: «не». А вот и соответствующая схема: пришел сигнал на вход, на выходе сигнал не появится, и, наоборот, если нет сигнала на входе, то на выходе он есть. Наконец, логическая операция: «и». В этом случае применяют так называемые схемы совпадения: сигнал на выходе возникает, когда импульсы приходят сразу на оба входа схемы.

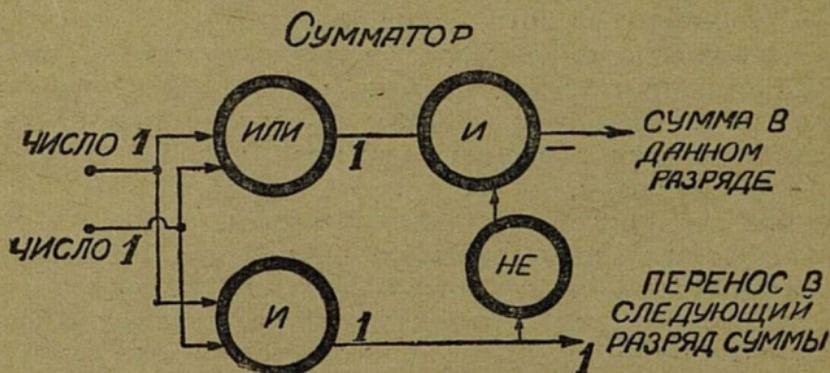
Как видите, все эти устройства весьма простые, и логика их вполне понятна. И это все? Разумеется, нет. Вспомните, что к простому двоичному сложению сводились сложные математические действия. И вот, подобно этому, из простейших «и», «не», «или» могут быть составлены более сложные логические преобразования, без которых машина беспомощна. В частности, сердце машины — сумматор

Логические ячейки



двоичных чисел никуда бы не годился, если бы в нем отсутствовали логические ячейки.

Мы изобразили здесь с помощью кружков такой простейший сумматор. Как видите, он целиком состоит из логических схем.



А для наглядности на схеме показано, что получается, если мы на оба входа подадим по импульсу. Это значит, что сумматор выполняет действие $1 + 1$. Разберемся в этом. На выходе схемы «или» возникнет сигнал, так как импульсы поступили на оба ее входа. Левая схема «и» также сформирует импульс. Значит, в следующий разряд сумматора, который здесь не изображен, побежит единица переноса. Схема «не» не позволит импульсу пройти в правую схему «и», поэтому на выходе этой схемы сигнал не образуется. Значит, в данном разряде получился нуль. А это соответствует знакомому вам правилу сложения $1 + 1 = 10$. При желании вы можете проверить и остальные правила двоичного сложения на этом сумматоре с помощью такой таблицы:

Число А	Число Б	Сумма	Перенос
0	0	0	0
1	0	1	0
0	1	1	0
1	1	0	1

Но куда же девается единица переноса? Она по-просту учитывается при образовании следующего, старшего разряда суммы. Существует два совершенно различных способа сложения двоичных чисел. Можно, например, оба числа вводить в сумматор разряд за разрядом, начиная с младшего. А импульс каждой единицы переноса необходимо задержать на время одного промежутка между импульсами и затем добавить в сумматоре к очередному разряду суммы. При этом сумматор складывает уже не два числа, а три, правда без переноса, и основное правило сложения приобретает вид $1 + 1 = 0$. В этом случае для сложения двух чисел требуется лишь один очень простой одноразрядный сумматор. Зато на выполнение арифметических операций приходится расходовать довольно много времени. Так работают цифровые машины последовательного действия.

Существует и второй способ сложения, который положен в основу работы очень распространенных теперь машин параллельного действия. При этом способе на каждый разряд складываемых чисел в машине имеется свой сумматор. И все разряды обоих чисел складываются одновременно. Но за большую скорость вычислений здесь приходится расплачиваться усложнением суммирующего устройства.

Пусть теперь понадобилось произвести умножение двух чисел. Вы уже знаете, что машина при этом выполняет сдвиг множимого. Кто же производит этот сдвиг? Специальное устройство — сдвигающее. Оно целиком состоит из уже известных вам логических ячеек и безошибочно сдвигает исходное число на нужное количество разрядов, учитывая все единицы и нули множителя.

Я не стану приводить здесь схем сумматора для многоразрядных чисел и сдвигающего устройства. Это увело бы нас в такие дебри, что мы не скоро смогли бы выбраться на прямую дорогу нашего рассказа. Важно лишь то, что теперь вы имеете представление об одноразрядном сумматоре. Но раз в машине есть и суммирующие и сдвигающие устройства, то она действительно в состоянии выполнять все операции по правилам двоичной арифметики.

Итак, мы с вами накопили несколько очень по-

лезных сведений и приблизились к ответу на самый главный вопрос: как же работает цифровая машина? Наша небольшая экскурсия в область двоичной арифметики незаметно привела нас к устройству машины. Теперь я смело могу произносить такие слова, как сумматор, регистр, сдвигающее устройство; для вас это уже уже понятные названия.

Поэтому я не вызову вашего недоумения, если скажу, что из сумматоров, сдвигателей и регистров слагается множительное устройство. Однако очень часто в машине обходятся без специального множительного устройства. Тогда умножение производится с помощью обычного сумматора и сдвигателя. Зато времени на умножение тратится при этом несколько больше. Из суммирующих и множительных устройств, в свою очередь, строится арифметический узел машины. Это название, собственно, и не нуждается в пространных объяснениях — оно говорит само за себя. Именно в арифметическом узле машины совершаются все действия над числами. Это, так сказать, мыслительный центр машины.

«ОБЩЕНИЕ» С ВНЕШНИМ МИРОМ. ПАМЯТЬ

А теперь нам не миновать рассказа о других не менее важных частях машины. Начнем с вводного устройства, или, короче, ввода. Что это за устройство? Зачем оно? Мы уже много раз говорили о том, что «духовный мир» машины — это мир электрических импульсов.

Предположим, мы написали на листке бумаги задачу и хотим теперь поручить ее решение нашей машине. Как же нам с нашей задачей проникнуть в этот мир? Как перейти от языка цифр к языку импульсов. Здесь-то нам и необходимо вводное устройство.

Но прежде чем приступить к его описанию, нам придется сделать небольшое отступление. В начале книги несколько раз упоминалось о важной роли перфокарт и перфолент в вычислительной технике. Теперь настало время рассказать об этом подробнее.

Перфокарта представляет собой картонную кар-

точку определенного стандартного формата. На ней напечатано несколько рядов десятичных цифр. Перфокарта вместе с вводным устройством — это своего рода переводчик с привычного нам языка цифр на электрический язык машины. Условия задачи или какие-либо сведения пробивают на перфокарте в виде круглых отверстий в строго заданном порядке. Там, где должна быть двоичная единица, мы находим отверстие. Нуль же на отверстие не имеет права. Пробивка карт производится на специальных машинах — перфораторах, снабженных клавиатурой, как у пишущих машинок. Когда отверстия пробиты, перфокарта уже содержит в себе определенные сведения. И ее с полным правом можно назвать внешним запоминающим устройством.

В близком родственном отношении с перфокартами находятся широко применяемые ныне перфоленды. Перфоленда — это длинная, узкая бумажная лента, на которой вы уже не найдете цифр, но условия задачи по-прежнему пробиваются в виде отверстий. Для этой цели очень удобно применять буквопечатающий телеграфный аппарат — телетайп, у которого имеется приспособление для пробивки отверстий.

Но вот наша задача превратилась в комбинацию круглых отверстий на перфоленде. Теперь ленту вкладывают в вводное устройство. Нажата кнопка, и через несколько десятков секунд лента считана — задача ушла в машину. Что при этом произошло? Я расскажу об одном из самых быстродействующих вводных устройств — фотоэлектрическом.

Если бы вы заглянули внутрь кожуха фотоввода, то нашли бы здесь яркую электрическую лампочку над лентой и под нею несколько светочувствительных приборов — фотоэлементов.

Лента протягивается мимо лампочки и фотоэлементов с помощью моторчика и валков. Когда между фотоэлементом и лампочкой проходит отверстие, фотоэлемент срабатывает и посылает электрический импульс в специальное устройство, которое придает ему определенную форму и величину. Пропущена вся лента — значит, вся задача превратилась в электрические импульсы.

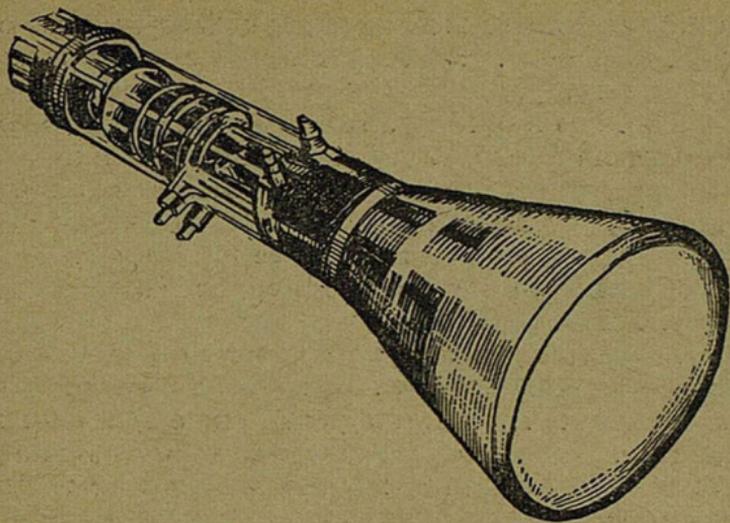
Куда же далее попадают эти импульсы? Во внутреннее запоминающее устройство, которое попросту именуют памятью.

Так мы подошли к новой, пока еще незнакомой части цифровой машины, играющей в ней очень важную роль. Не правда ли, человек, обладающий хорошей памятью, внушает к себе уважение? Так и машина, память которой отличается большой вместимостью и быстродействием, имеет право на хорошую оценку.

Некоторые специалисты считают, что история электронных цифровых машин — это прежде всего история улучшения их памяти. И с этим нельзя не согласиться. В деле усовершенствования памяти достигнуты уже немалые успехи, и все-таки идеал еще не найден.

В устройстве памяти цифровой машины нет ничего сверхъестественного, — вы скоро в этом убедитесь. И если ее с чем-либо сравнивать, то не с памятью человека, а, скорее, с записной книжкой, записи в которой можно быстро стирать. Только записи эти в памяти машины делаются на ее языке, на языке «да» — «нет», на языке электрических импульсов. Вам уже известно, что даже с помощью обычных реле можно запоминать числа. В ранних американских цифровых машинах «МАРК» память состояла как раз из реле. В машине «МАРК-2» память могла хранить только сто чисел. Разве это мало? Очень мало, если сравнить эту машину с современными, память которых способна сберегать более двух тысяч чисел. Но теперь и двух тысяч недостаточно — в наши дни идет борьба за десять — двадцать тысяч. Вам станет понятна такая «жадность» конструкторов машин, если я скажу, что от вместимости памяти зависит способность машины решать особо сложные задачи.

В первых электронных машинах память состояла из электронных реле-триггеров. Такая память могла хранить лишь небольшое количество чисел. А в машинах современных пока еще наибольшее распространение находят запоминающие устройства на электронно-лучевых трубках, очень похожих на телевизионные трубки.



Так выглядит электронно-лучевая запоминающая трубка.

Память на электронных трубках отличается прежде всего быстродействием. Да и хранить с их помощью можно достаточно большое количество чисел.

При этом каждой трубке обычно поручают хранение только одного разряда всех чисел. Значит, если машина оперирует с тридцатиразрядным двоичным числом, мы найдем в ней тридцать запоминающих трубок. А в одной трубке можно разместить более тысячи электрических единиц и нулей.

В чем же сущность работы такой электронно-лучевой, или, иначе говоря, электростатической, памяти. Трубка содержит электронный прожектор — несложное устройство, дающее узкий электронный луч. Движением луча можно управлять: для этого в трубке имеются отклоняющие пластины. Приложив к ним определенное электрическое напряжение, можно заставить луч прийти концом в любую точку экрана. Экран представляет собой тонкий слой материала, не проводящего электрический ток, — диэлектрика. Слой диэлектрика нанесен на тонкий проводящий электрод — анод. К нему-то и прикладываются импульсы, которые необходимо запомнить.

Вот в устройство управления пришел в виде

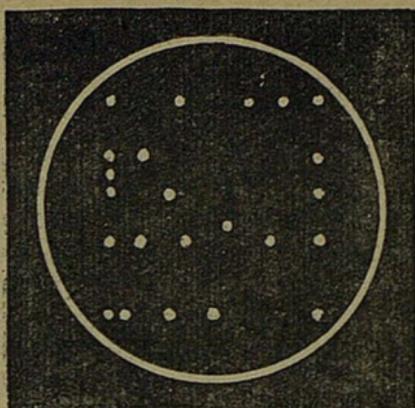
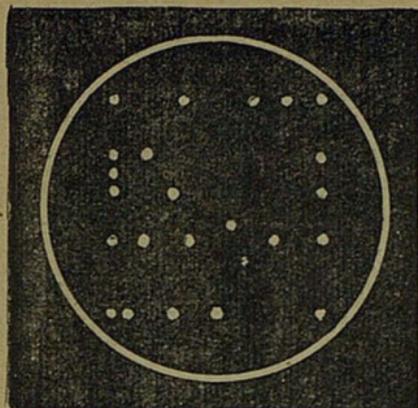
специальных импульсов приказ: записать число по такому-то адресу. В соответствии с приказом это устройство направляет конец электронного луча в каждой трубке в нужную точку экрана. И если в тот же момент на проводящий электрод трубки поступит электрический импульс определенного знака (плюс или минус), то на маленьком участке материал экрана зарядится. Пусть за некоторое время при разных положениях луча на экране придет несколько импульсов. Тогда заряды возникнут в разных точках экрана, и каждый такой заряженный участок будет иметь свой точный адрес. Так производится запись электрических нулей и единиц в запоминающем устройстве.

Сохранять сведения можно по-разному; однако единицу удобнее изображать с помощью положительного заряда, а на долю нуля остается отрицательный.

Берут числа из памяти также с помощью электронного луча. Для этого его направляют с помощью управляющего устройства по нужному адресу в определенную точку экрана, где хранится интересующая нас единица или ноль. На языке специалистов это называется: «адрес ячейки памяти». А на металлические аноды подаются уже не импульсы, как при записи, а постоянные напряжения.

В зависимости от того, какой заряд хранился по данному адресу — положительный или отрицательный, между анодом трубки и еще одним ее электродом — собирательным — возникает сигнал определенного знака (плюс или минус). Этот сигнал затем усиливается и идет к месту назначения, например в арифметический узел. Управляющее устройство в машине параллельного действия командует одновременно всеми трубками, то есть во всех трубках направляет луч по одному адресу. Так в память подаются или из нее забираются сразу все разряды числа.

Запоминающий узел в целом — сооружение достаточно сложное. Ведь для того, чтобы правильно управлять трубками, обновлять в них запись, придавать импульсам нужную форму, требуются разнообразные вспомогательные устройства.



На экранах трубок цифры хранятся в виде электронных зарядов.

Здесь были описаны только два способа запоминания. На самом деле выбор машинных устройств памяти значительно богаче. Можно назвать тут и магнитные барабаны и ртутные ультразвуковые линии задержки и многое другое, о чем пришлось бы еще долго рассказывать. Часто машину снабжают несколькими видами памяти, например электронными трубками и магнитным барабаном. Это позволяет намного улучшить математические способности машины.

Вспомните теперь, что условия задачи в виде электрических импульсов из вводного устройства приходят в память. Во время работы машины числа попадают в арифметический узел, и там над ними совершаются заданные действия.

Куда же попадает результат этих действий? Снова в память. Результаты, правда, могут быть не окончательными, а промежуточными. Для вычислителей они обычно не представляют никакого интереса. И нет смысла сохранять их до конца вычислений. К тому же они могут занимать в памяти слишком много ячеек. Поэтому, как только промежуточные результаты сыграют свою роль, они автоматически стираются и в памяти освобождается место для новых чисел, получающихся при работе машины. Но вот в памяти накопилось окончательное решение задачи, конечно, в виде электрических сигналов. Как нам их оттуда извлечь? Как получить решение на-

шей задачи на привычном нам десятичном языке? Это дело возлагается на следующий узел машины — выводное устройство, или, короче, вывод.

Хотя сам по себе этот узел устроен достаточно хитроумно, мы не станем уделять ему много внимания, потому что выводное устройство по сравнению с арифметическим узлом или памятью машины выполняет технически более простую задачу.

Вывод состоит из прибора, пробивающего отверстия в бумажной ленте — перфоратора — и буквопечатающего телеграфного аппарата телетайпа. Перфоратор, получая из памяти результат задачи в виде электрических сигналов, превращает его в комбинацию отверстий на бумажной ленте.

Однако эта лента совсем еще не годится для чтения ответа. Поэтому ленту далее закладывают в телетайп, и именно он на листе бумаги дает окончательный ответ в виде таблицы обычных, понятных всем десятичных чисел. В некоторых машинах вывод устроен еще проще. Здесь импульсы, соответствующие результату задачи, попадают прямо в буквопечатающий аппарат, который может действовать не только от перфоленты, но и от самих импульсов. Так импульсы без ненужных посредников превращаются в печатные цифры и знаки.

Надо сказать, что самыми «узкими» местами машины являются как раз ввод и вывод. Почему же? По той простой причине, что процедура ввода задачи и вывода ее результата занимает недопустимо много времени в сравнении с его затратой на само решение. Вот почему усилия многих конструкторов сейчас направлены на то, чтобы сделать ввод и вывод более быстродействующими.

НЕМНОГО О «МЫСЛИТЕЛЬНЫХ СПОСОБНОСТЯХ» МАШИНЫ

Ввод, память, арифметическое устройство, вывод — вот те части машины, с которыми вы теперь знакомы. Все ли это? Сначала может показаться, что этого достаточно.

Действительно, условия задачи ввели в машину,

сохранили их в памяти, проделали необходимые действия и получили ответ на бумаге. И все-таки этим не исчерпывается «анатомия» машины. Ведь всеми операциями в машине нужно управлять, причем управлять автоматически. Поэтому в машине есть еще один важный узел, без которого ее работа невозможна, — управляющий. Но тогда может возникнуть вопрос: каким же образом неразумное устройство без помощи человека может справляться с труднейшей задачей разумного управления всеми частями такого сложного и быстродействующего аппарата, каким является цифровая машина?

Люди заранее заботятся о том, чтобы и управляющее устройство и машина в целом действовали разумно. Для этого они еще до начала вычислений не только посылают в машину все исходные числа, но и отдают ей все необходимые команды. Каждая команда имеет примерно такой вид: «Взять числа А и В из таких-то ячеек памяти, сделать над ними такие-то действия, результат направить в такую-то ячейку памяти». Одна из последующих команд этот результат использует и произведет над ним новую операцию. Команды машине отдаются, конечно, не словами, а на известном вам языке двоичной системы.

В отличие от моделирующих машин, работать на цифровой машине не так-то просто. Почти каждую такую машину обслуживает целая группа квалифицированных математиков. И дела им, надо сказать, вполне хватает. Для любой задачи необходимо найти хороший способ численного решения, перевести задачу на язык машины и позаботиться о том, чтобы в машину попали все исходные числа и команды.

Условия задачи и команды математик записывает в строго определенном порядке на специальном бланке, пользуясь обычными буквами и десятичными цифрами. Этот своеобразный список команд и чисел и является программой работы машины, а вся процедура, которую математику придется проделывать, носит название программирования.

Не подумайте, однако, что машина выполнила

бы всякую команду, которую вдруг решил бы ей дать программист. Каждая машина имеет свой собственный перечень приказов, свою систему команд. И только эти команды она умеет выполнять. Поэтому, составляя программу, математик постоянно помнит об особенностях своей машины.

Но вот программа составлена. Какова же ее дальнейшая судьба? Несколькими страницами раньше вы познакомились с перфолентой. Тогда лишь мимоходом было сказано, что условия задачи превращают в комбинацию круглых отверстий на ней. Теперь картина становится полной: ведь именно содержание программы переносится на ленту; только в таком виде она может быть воспринята машиной.

Перенос программы на ленту — задача нетрудная. В комплекте машины мы обязательно найдем либо специальный перфоратор, либо попросту буквопечатающий телеграфный аппарат. Оператор, обрабатывающий на перфораторе ленту, проделывает примерно то же, что и обыкновенная машинистка: глядя на список команд, он постукивает по клавиатуре аппарата. А сбоку из аппарата выползает готовая перфолента. И не только числа, но и команды впоследствии оживут в машине в виде электрических нулей и единиц.

Вы уже знаете, что при считывании ленты в вводном устройстве условия задачи и команды попадают в память. Теперь оператору, обслуживающему машину, остается только нажать пусковую кнопку. Начиная с этого момента машина не нуждается во вмешательстве человека. Она все сделает сама.

Сразу же вступает в работу управляющее устройство. На его долю выпадает немало самых различных забот. Во-первых, очередную команду, взятую из памяти, надо расшифровать. В соответствии с командой необходимо извлечь нужные числа из нужных ячеек памяти. Далее надо направить эти числа в арифметический узел и проследить за тем, чтобы над ними были проделаны определенные действия так, как приказывала команда. Необходимо позаботиться о том, чтобы результат не заблудился, а попал по строго указанному адресу. Если взятая из памяти команда прикажет остановить вычисления, то

управляющее устройство четко выполнит этот приказ. Теперь можно проверить промежуточный результат.

Но вот задача решена. И последняя операция — печатание результата — также выполняется по приказу управляющего устройства. От начала и до конца управляющее устройство строго следит за согласованностью работы всех частей машины, определяет их ритм. Если почему-либо возникнет ошибка или сбой, оно остановит машину и даст сигнал.

Таковы лишь самые главные обязанности управляющего устройства. Но еще многое другое придется выполнять этой важной части цифровой машины.

Из чего же состоит управляющее устройство? Снова из уже знакомых вам электронных реле, счетчиков и логических ячеек. Почетная роль отводится в нем логическим ячейкам определенного типа — клапанам. Это несложные электронные устройства, которые, подчиняясь каждой очередной команде, создают проводящие пути для импульсов. И все, что совершает управляющее устройство, заранее определяется людьми, работающими на машине. Машина становится умной только после того, как человек вложит в нее частицу своего ума.

Итак, мы обошли нашу воображаемую цифровую машину со всех сторон, мельком заглянули внутрь нее, понаблюдали за программистом и оператором. Теперь, чтобы ваше представление о работе машины приняло более четкие формы, достаточно привести одно простое сравнение. Представьте себе, что некий счетовод должен рассчитать зарплату рабочего. Что ему необходимо для этого?

Во-первых, он должен знать, как проделать такой расчет, как определить премию, как вычислить налоги. Иными словами, ему нужна инструкция, программа расчета. Далее он должен знать, сколько деталей изготовил рабочий. Это исходные сведения. Затем счетовод нуждается в каком-то вычислительном устройстве: пусть это будет либо арифмометр, либо счеты, либо попросту его собственная голова. В ходе расчета он будет получать какие-то числа, которые впоследствии понадобятся ему. Значит, ему нужен

листок бумаги для записи вспомогательных чисел. И, наконец, необходима карточка, куда он запишет результат — подсчитанную зарплату.

И вот наш счетовод начал считать. Он взглянул в инструкцию и узнал, что надо делать. Набрал на арифмометре нужные цифры, покрутил рукоятку и получил промежуточный результат. Этот результат записал на листке бумаги. Опять взглянул в инструкцию и выяснил, что делать дальше. Снова набрал нужные цифры, повернул рукоятку, списал ответ и так далее. Прodelав все, что предписывала инструкция, он получил и записал ответ. Зарплата подсчитана.

Работа цифровой машины очень напоминает то, что проделал счетовод. Можно сказать, что в машину перенесены те же приемы расчета, которым следует и человек-вычислитель. Действительно, инструкции и исходным сведениям нашего счетовода соответствует программа машины, память машины выполняет ту же задачу, что у счетовода листок бумаги для записи промежуточных результатов. Наконец, действие управляющего устройства в машине можно уподобить работе самого счетовода, который переносил цифры с бумаги на арифмометр, проделывал на нем нужные операции, записывал результаты и т. д.

Вы убедились в том, что цифровая машина — это сложный, умный аппарат, насыщенный разнообразными элементами, которые тесно взаимодействуют друг с другом. Можем ли мы наконец назвать цифровую машину думающей? Да, в определенном смысле можем. Однако мы не имели бы права сделать это, если бы не две чрезвычайно важные особенности машины, о которых ни при каких обстоятельствах нельзя забывать. Вы, наверно, заметили, что управляющие машиной команды при программировании приобретают вид чисел, причем чисел двоичных. Было обнаружено, что в ряде случаев и обращаться с командами в машине можно, как с числами; иными словами, с ними допустимо производить арифметические действия.

Выполняя арифметические действия над командами, машина получает в результате новую коман-

ду, которую она сама же потом и выполнит. Значит, машина способна сама вырабатывать себе приказ на будущее. Это и составляет первую важную особенность работы машины.

Теперь о второй. Во многих случаях бывает необходимо изменять ход расчетов в зависимости от того, каким получился промежуточный результат. Грубо это можно изобразить так. Представьте себе, что после нескольких операций получилось число a . Дальше — перепутье. Если величина a меньше какого-то числа k , то нужно продолжать расчет по одной формуле, если же больше, то по другой.

Справляется ли машина с такой задачей выбора дальнейшего пути? Да, справляется и без вмешательства человека. Для этой цели в списке команд цифровой машины предусмотрена команда так называемого условного перехода. Иными словами, при определенном *условии* машина совершает *переход* от одного способа расчета к другому. Вы уже почувствовали, что здесь прежде всего надо сравнивать два числа (a и k). И это сравнение с помощью уже известных вам логических схем действительно совершается в арифметическом устройстве.

Что же происходит дальше? Пусть сравнение показало, что машина должна перейти к новому способу расчета. Тогда арифметическое устройство посылает сигнал в устройство управления, которое в этом случае изменяет команду. Так в машине образуется *обратное воздействие*, или, на языке инженеров, *обратная связь*, между этими двумя узлами. Значит, и в этом случае машина сама определяет свое дальнейшее поведение. Вот эта способность автоматически выбирать себе «дорогу на перепутье» и составляет вторую важную особенность машины. Но не забудьте, однако, что и арифметические действия над командами, и команда условного перехода, и необходимый ассортимент команд заранее заложены в программу человеком.

Я умышленно повторю еще раз только что сказанное. Итак, цифровая машина обладает удивительной способностью разбираться в обстоятельствах, выбирать правильный путь для дальнейшей своей работы и сама вырабатывает для себя новые

приказы на будущее. Теперь вы уже наверняка согласитесь, что все это в какой-то степени напоминает мыслительную деятельность человеческого мозга. Ведь логическое мышление человека — это тоже процесс сравнения фактов, выбора правильного пути, выработка решения для последующих действий — процесс, правда, несравненно более сложный, чем тот, который совершается в машине. Наконец-то мы можем оправдать название этой книги: «Думающие машины». Этому названию вполне заслуживают цифровые машины. Ну, а про многозначительные кавычки мы с вами постараемся не забыть.

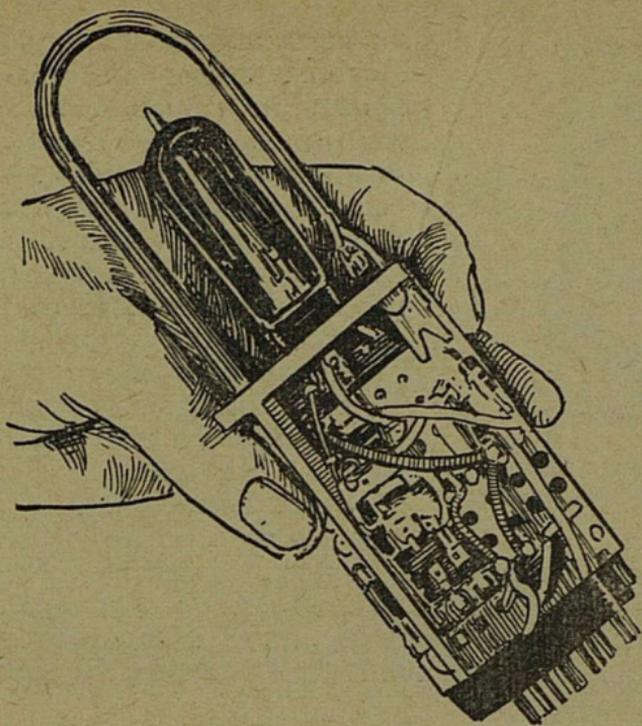
ОТ СТАРОЙ ТЕХНИКИ К НОВОЙ

Радио прочно вошло в наш быт, и теперь, вероятно, у нас не найти человека, который не знал бы о существовании электронных ламп, электронно-лучевых трубок, радиоспротивлений — всего того, из чего слагаются не только радиоприемники и телевизоры, но также и цифровые машины. Неудивительно, что в нашем рассказе упоминалось о них, как о вещах, хорошо всем известных.

Но достаточно ли надежны эти элементы? В первую очередь такой вопрос касается электронных ламп и трубок. Если применять их в обычных приемниках или телевизорах, то к ним трудно предъявить какие-либо претензии. Но если мы станем на защиту интересов цифровых машин, придется признать, что лампы и трубки «неблагонадежны». Почему же так строги наши требования к этим элементам? Все очень просто. Выйдет из строя лампа в телевизоре — в худшем случае проведем один скучный вечер без него. Потом сменим лампу, и все в порядке.

Конечно, лампы можно менять и в цифровой машине. Машину даже конструируют именно так, чтобы любой элемент можно было мгновенно заменить. Но представьте себе, что машина должна решить сложную задачу из многих сотен тысяч операций. Что произойдет, если подведет одна только лампа? Все решение пойдет насмарку.

Как же борются с этим злом? Прежде всего ве-

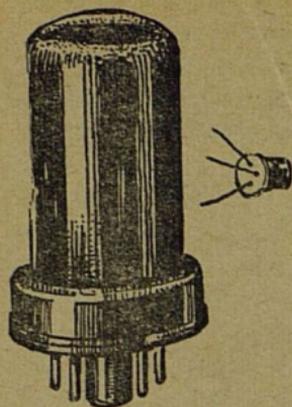


Сменный блок электронной машины.

дуг очень тщательный уход за машиной и регулярно проверяют те сотни и тысячи ламп, которые в ней содержатся. Кроме этого, принято каждую задачу решать по крайней мере два раза. Если дважды будет получен один и тот же результат, можно считать, что задача решена правильно.

Вы видите, что «хорошее поведение» машины достигается дорогой ценой. Значит, надо искать другие пути повышения надежности цифровых машин. Вот об этом-то мы сейчас и поговорим.

Достижения современной электроники далеко не ограничиваются созданием и усовершенствованием электронных ламп и трубок. Еще на заре электроники в радиоприемниках стали применять приборы из полупроводников — кристаллических веществ, которые обладают рядом особых и важных свойств. Эти вещества, и, в частности, элементы германий и кремний, занимают промежуточное положение между металлами и неметаллами. Вначале полупроводниковые приборы имели только два электрода. Это бы-



Электронная лампа и полупроводниковый триод.

ли лишь кристаллические диоды. Постепенно диоды совершенствовались, но возможности их применения все же оставались ограниченными. Несколько лет назад были изобретены полупроводниковые приборы нового вида — кристаллические триоды, или, как их часто называют, транзисторы. У этих приборов три электрода, один из которых можно использовать для управления током, подобно тому, как это делается в радиолампе.

Здесь невозможно подробно описать все замечательные свойства и возможности полупроводниковых приборов. Те, кто захочет побольше узнать об этих важных новинках науки и техники, могут обратиться к интересной и полезной книге Г. Анфилова «Что такое полупроводник?».

Изобретение полупроводниковых триодов было очень важным событием в мире радио и электротехники. Чем же они так хороши? Прежде всего из триодов-транзисторов оказалось возможным строить самые разнообразные схемы и, в частности, электронные реле. В этом отношении они ничуть не уступают радиолампам. А по многим важным качествам транзисторы намного их превосходят.

Полупроводниковые приборы, например, в десятки раз долговечнее, чем рядовые радиолампы. Это чрезвычайно важно для цифровых машин. Еще одна особенность транзисторов — очень небольшие размеры. Для того чтобы вы убедились в этом, мы изобразили здесь обычный транзистор рядом со стандартной электронной лампой. Нет надобности долго рассуждать о том, как это полезно с точки зрения цифровых машин.

О прочности транзисторов также не надо много говорить. Вместо длинных и скучных рассуждений об их механических качествах я приведу лишь один пример. Инженеры, изучавшие прочность полупроводниковых триодов, продемонстрировали на одной

из радиовыставок такой опыт. Собрали миниатюрный радиопередатчик с полупроводниковым триодом и поместили его... внутрь бойка обыкновенного молотка. Убедились в том, что специальный радиоприемник надежно принимает сигналы от этого радиопередатчика. Затем дали молоток слесарю, который с его помощью стал выполнять свою обычную работу: бить по зубилу, расклепывать головки заклепок и тому подобное. Прекратилась ли работа передатчика? Ничуть. Он стойко продолжал посылать сигналы. Можно себе представить, что было бы, если бы вместо транзистора в молоток поместили электронную лампу!

И, наконец, еще одно весьма полезное свойство полупроводниковых триодов — это чрезвычайно малое потребление электроэнергии. Достаточно сказать, что целый радиоприемник, собранный на таких триодах, может долгое время питаться от батарейки обычного карманного фонаря.

Конечно, не все замечательные свойства полупроводниковых триодов используются в равной мере. В большой, неподвижно стоящей машине никто не станет испытывать триоды на прочность. В этом случае она значения не имеет. Но зато как важно здесь, что триоды долговечны, имеют ничтожные размеры, мало потребляют энергии!

Есть ли недостатки у транзисторов? Разумеется, но с большинством из них можно бороться. Особенно слабо эти недостатки сказываются в импульсных схемах, которые работают достаточно грубо, а ведь именно из таких схем в основном и состоят цифровые машины. И тут приходится согласиться, что по своим качествам полупроводниковые элементы как бы специально рождены для цифровых машин.

Поговорим еще об одной новинке электронной техники, которая, вероятно, произведет большие перемены в «анатомии» цифровых машин. Речь идет о магнитных элементах с некоторыми особыми свойствами.

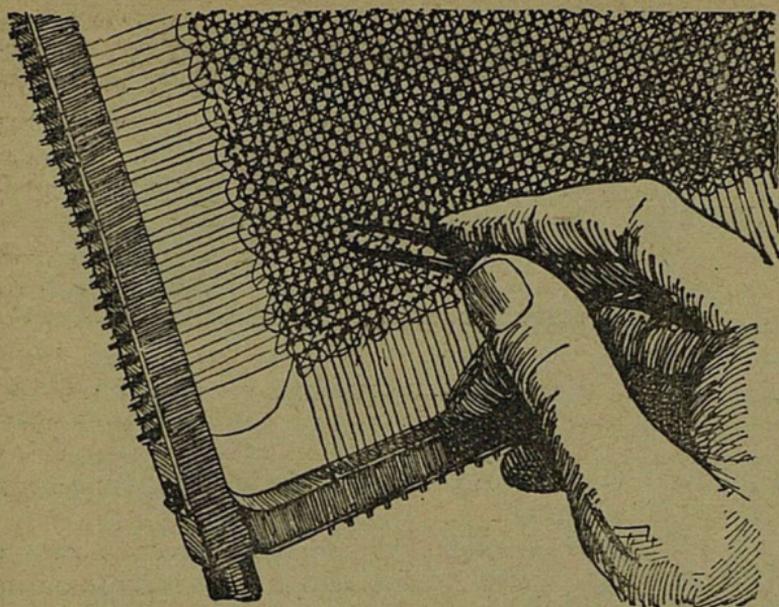
Металлы с различными магнитными качествами известны очень давно, и важнейший из них — сталь разнообразных марок — находит широчайшее применение в электротехнике.

В последнее время внимание исследователей начали привлекать различные специальные магнитные сплавы. Из этих сплавов можно, конечно, получать пластинки нужных размеров для всевозможных электрических приборов. Однако в радиотехнике, в цифровых машинах — там, где приходится иметь дело с токами высокой частоты, такие пластинки работают плохо. На смену им пришли магнитные порошки — ферриты. Для того чтобы получить ферритовый сердечник нужной формы, порошок приходится смешивать со специальной смолой, прессовать, а затем подвергать термической обработке. Как выглядят готовые сердечники, применяемые в цифровых машинах? Это попросту миниатюрные колечки диаметром в два и даже в один миллиметр.

Основное свойство ферритового сердечника заключается в том, что он способен скачкообразно перемагничиваться из одного состояния в другое под действием электрического тока, пропускаемого через обмотку такого магнита. И это новое состояние сохраняется в сердечнике неопределенно долгое время. Таких возможных магнитных состояний у сердечника два. А это значит, что «повадки» ферритов очень подходящи с точки зрения языка машины — языка «да» и «нет».

Что представляет собой обмотка подобного миниатюрного электромагнита? Это проволочка, проходящая через отверстие колечка. Обычно сквозь сердечник пропускают три — четыре проволочки, так как сердечником приходится управлять с помощью нескольких независимых электрических токов.

Самое важное применение ферритовые элементы находят в запоминающих устройствах машин. Наиболее быстродействующая память прежних машин — электростатическая — обладает рядом существенных недостатков, в частности она сложна и недостаточно надежна. В ферритовой памяти эти недостатки успешно преодолены. А в отношении быстродействия она ничуть не уступает памяти на трубках. Наконец, вместительность ферритовой памяти, по существу, ничем не ограничена.

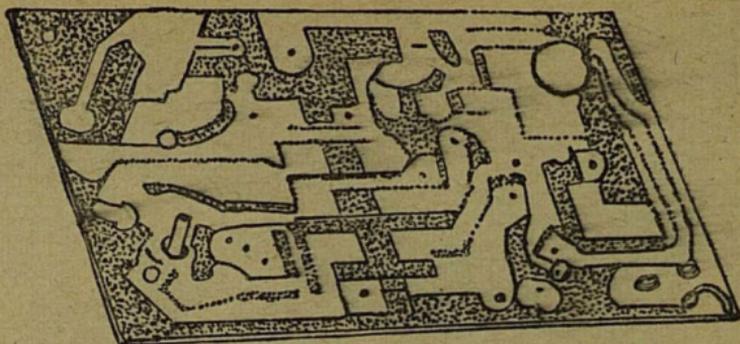


Ферритовая память.

Что же представляет собой память на ферритовых сердечниках? Мы приводим здесь интересное изображение ее. Посмотрите, это своеобразная ткань из множества проволочек, в местах перекрестий которых сидят ферритовые сердечники. Все очень просто и в то же время надежно.

БЕЗ ПРОВОДОВ И ПАЙКИ

В результате новейших достижений техники ученые и инженеры получили возможность в сильной степени изменить «анатомию» цифровых машин. Транзисторные реле и логические схемы, память на ферритовых элементах — вот новые «клетки» организма машин. Но наступила пора подумать об усовершенствовании, так сказать, нервной системы машин, то есть связей между отдельными ее элементами. Раньше каждое сопротивление, каждый конденсатор припаивался оловом к проводам. Многочисленные провода тянулись от одной части схемы к другой. Они ломались, пайки со временем на-



Печатный монтаж.

рушались. А сам монтаж таких схем требовал большой затраты труда.

В наши дни на смену «древнему» способу ручного монтажа приходит новая, исключительно прогрессивная технология печатных схем. В чем сущность этого метода? Чтобы получить ответ, посмотрите на фотографию такой печатной схемы. Здесь вы не найдете отдельных висящих проводов. Связь между элементами схемы осуществляется проводящими дорожками, причудливо извивающимися по поверхности пластинки из изоляционного материала. Подобные дорожки можно наносить различными способами. Один из них заключается, например, в нанесении распыленного металла через трафарет. Иногда на непроводящую пластинку наносят сплошной слой металла, а поверх него — слой светочувствительного вещества. Затем на светочувствительный слой переносят с помощью света изображение схемы с шаблона и полученную фотокарточку подвергают химической обработке: ненужные места металла вытравляются, а проводящие дорожки остаются.

Чем хороша такая технология? Прежде всего в печатных схемах соединения между частями намного надежнее, чем при обычной пайке, а сам монтаж получается более компактным. И если организовать содружество полупроводниковых приборов с печатными схемами, то достигается поразительная экономия места. Печатный монтаж позволяет также автоматизировать производство радиотехнических

устройств. В этом, пожалуй, и заключается его важнейшее достоинство.

Ныне существуют и успешно действуют полностью автоматизированные линии по производству электронного оборудования и, в частности, узлов цифровых машин. Автоматизированное производство не только потребовало применения метода печатных схем. Здесь пришлось целиком изменить технологию изготовления всех обычных радиодеталей.

В таком производстве сопротивления и конденсаторы — это не привычные глазу трубочки, а тонкие прямоугольные пластинки. Подобные пластинки значительно проще изготавливать на автоматическом оборудовании, да и собирать из них целые узлы намного удобнее.

Оборудование автоматической линии может производить за час тысячу радиодеталей, причем каждая из них подвергается тщательной проверке. Разнообразные готовые детали после изготовления попадают на сборочный конвейер, где из них собирают целые узлы. Друг с другом они соединяются без пайки с помощью печатных схем, и каждый готовый узел напоминает столбик из нескольких галет или печений. Посмотрите теперь, как выглядит такой узел, целиком изготовленный без участия людей. На нашем рисунке он изображен справа, а для сравнения слева показан узел, собранный обычным способом.

Все те новинки электроники, о которых я только что рассказал, имеют огромное значение для техники цифровых машин. Когда эти достижения по-настоящему проникнут в производство, машины станут безотказными и долговечными, неприхотливыми и экономичными. Размеры и вес их будут значительно уменьшены. Производиться машины будут в количестве, достаточном для удовлетворения нужд многочисленных заводов, институтов и всевозможных финансовых учреждений. Машина станет вездесущим помощником человека в его труде.

Для того чтобы показать важность новой техники при изготовлении цифровых машин, приведу лишь один пример. Не так давно в США была разработана самолетная цифровая машина, которая вместо

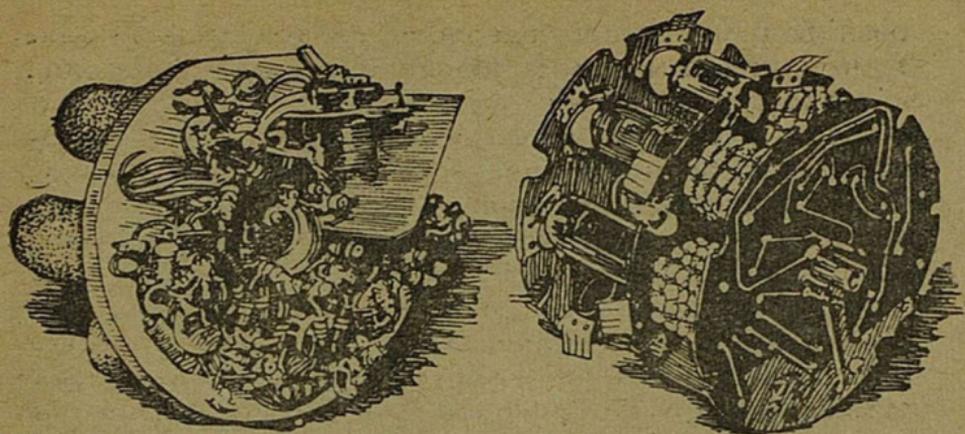
электронных ламп содержит только транзисторы. В машине применен печатный монтаж. Вся машина, которая решает задачу с... 93 величинами, весит только 50 килограммов, занимает места не больше, чем обыкновенный телевизор, и расходует электроэнергии столько же, сколько одна лампочка на сто свечей. Пример, конечно, достаточно убедительный, но уже далеко не единственный!

Последнее, что нам осталось обсудить, это вопрос быстродействия цифровых машин. Быстродействие наряду с точностью и универсальностью представляет собой важнейшее свойство их характера. Собственно, ради получения быстродействия и потребовалось привлечь электронику на службу вычислительной техники. Каковы же успехи в этом отношении? Уже теперь цифровые машины считают в среднем со скоростью пять — восемь тысяч арифметических действий в секунду. Но это не предел.

Ученые и инженеры ведут теперь упорную борьбу не за тысячи, а за десятки тысяч операций в секунду. Надо сказать, что задача эта очень нелегкая. Конструкторам машин приходится отказываться от многих схем, считавшихся привычными, искать и создавать новые схемы и элементы.

Большую помощь инженерам в деле повышения быстродействия машин оказывают математики, привлекающие для этой цели новейшие идеи теории чисел и теории информации. В 1955 году в США была построена уникальная машина «НОРК», которая, по мнению ее авторов, будет выполнять в секунду шестьдесят тысяч сложений или тридцать тысяч умножений. В нашей стране также ведутся работы по созданию не менее быстродействующих машин. Можно предположить, что скорость в сто тысяч операций в секунду будет достигнута в недалеком будущем. Но не всегда следует чрезмерно увлекаться быстродействием. Оно обходится недешево. Поэтому от массовых машин требуются прежде всего хорошие деловые качества, а с быстродействием порядка двух — трех тысяч операций в секунду вполне можно согласиться.

Попробуем представить эти тысячи в более наглядном виде. Человек, считая на арифмометре, в



Справа — электронный узел, изготовленный без вмешательства человека. Слева — такой же узел, изготовленный обычным путем.

состоянии выполнять примерно одно действие в секунду. Но он не может делать это непрерывно. Время от времени наступает усталость, его могут отвлекать для других дел. А машина действует безостановочно — усталость ей не угрожает. Поэтому если мы предположим, что машина считает в десять тысяч раз быстрее человека, то не погрешим против истины. А если так, то всю работу счетовода за целый рабочий день машина выполнит за... три секунды.

Еще недавно на вычисление колебаний частей самолета в полете тратилось пять тысяч человеко-часов, иначе говоря, десять человек должны были непрерывно считать в течение двух с половиной месяцев. Как быстро может справиться с этой задачей цифровая машина? За полчаса! Таково потрясающее быстродействие цифровых машин.

ЦИФРОВАЯ МАШИНА РАБОТАЕТ

Так можем мы озаглавить все то, о чем пойдет речь дальше. При первом знакомстве с огромным быстродействием цифровых машин невольно поражаешься ему. Возможно, что, привыкнув, вы более не станете проявлять удивления. И все-таки я расскажу о некоторых чисто математических примене-

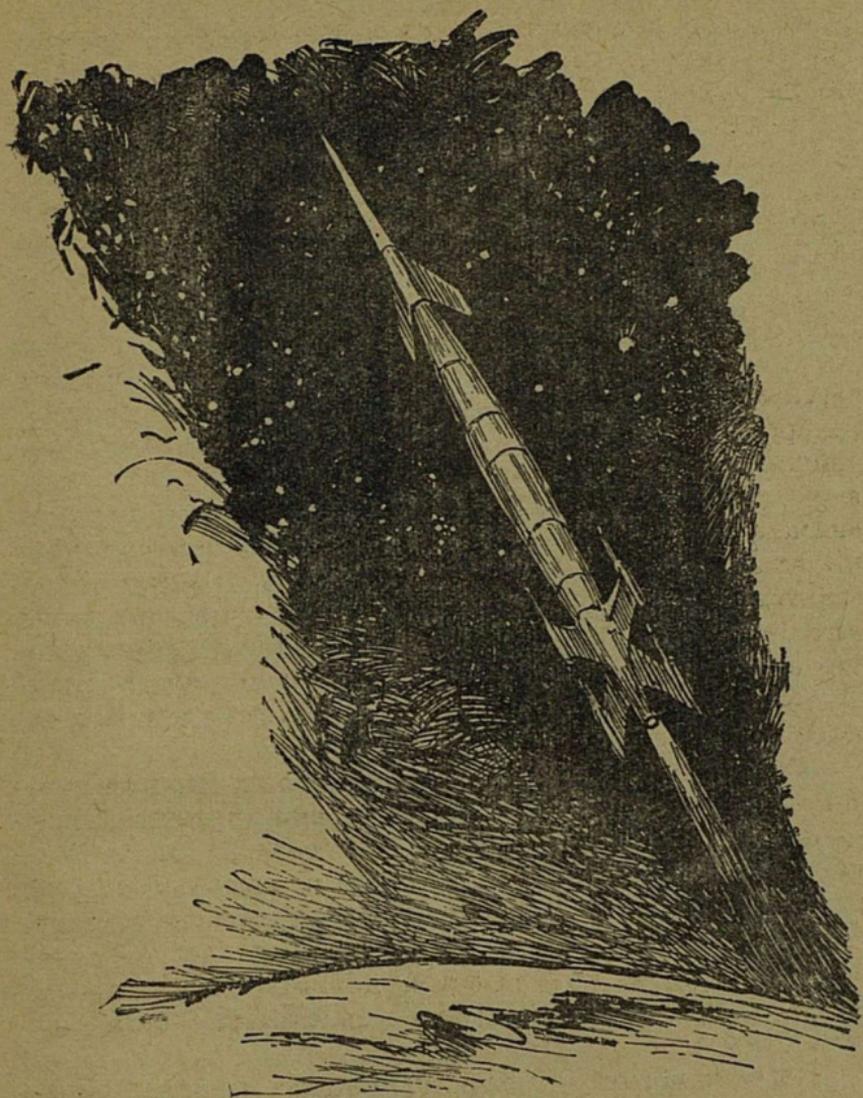
ниях цифровых машин, хоть вам и может показаться, что ничего нового к уже сказанному относительно их быстродействия не добавишь.

Всем известно, что математические расчеты в астрономии отличаются исключительной трудоемкостью. На протяжении многих веков астрономы с величайшей кропотливостью рассчитывали траектории движения небесных тел, даты солнечных и лунных затмений, сроки великих противостояний планет. Труд, проделанный ими, поистине огромен. Но если бы потребовалось, все эти расчеты можно было бы быстро и с большой точностью повторить на цифровых машинах. И действительно, с их помощью сейчас уже проделана большая работа по проверке ряда астрономических расчетов. Чтобы вы убедились, как удобны цифровые вычислительные машины в астрономии, сообщу такой факт. Определение местоположения Луны на небесном своде производят по старинной формуле, которая занимает... целых пятьдесят страниц. И вот расчет траектории Луны по этой потрясающе длинной формуле занял на машине всего семь минут.

Так обстоит дело с астрономическим «прошлым». Но приближается то удивительное время, когда начнется освоение солнечной системы. И здесь вычислительные машины должны сыграть великую роль. В солнечной системе насчитывается несколько тысяч малых планет, или астероидов. Ко времени первых космических полетов должны быть самым точным образом рассчитаны траектории движения всех этих небесных тел.

На основании расчетов астрономы составят своеобразную карту окрестностей Земли. Это необходимо прежде всего для того, чтобы сделать безопасным движение космического транспорта по магистралям солнечной системы.

Разумеется, только цифровые машины способны выполнять столь огромный труд. Надо сказать, что в этом отношении сделано уже немало. В частности, на цифровой машине определены траектории движения вокруг Солнца более тысячи шестисот малых планет. Эти расчеты нужны не только для будущей астронавигации — они помогают уже теперь накап-



ливать сведения, необходимые для изучения вопроса о происхождении солнечной системы.

Раньше для расчета траектории движения спутника какой-либо планеты всего на десять дней вперед тратилось пятнадцать минут. Цифровая машина — настолько мощное средство, что требуется только пятьсот часов ее работы, чтобы на четверть века вперед предсказать все движения всех планет солнечной системы!

Вот еще один интересный пример. Зимой 1954 года астрономы хотели произвести фотографирование восьмого из двенадцати спутников планеты Юпитер. Этот спутник не наблюдался с 1941 года, так как точная траектория его движения была неизвестна. Для ее расчета решили применить цифровую машину. Были найдены исходные данные и составлена программа. За двадцать минут машина рассчитала все движения Юпитера VIII на двадцать пять лет вперед. По результатам решения этой задачи на огромном 100-дюймовом телескопе был взят прицел, и потерянная восьмая луна Юпитера была найдена. Изображение спутника в телескопе имело размер копеечной монетки на расстоянии 60 метров.

И, наконец, нельзя умолчать о выдающемся научном событии недавних дней — о запуске советскими учеными и инженерами двух искусственных спутников Земли. Беря в руки газету, вы читаете в ней подробные сведения о траекториях полета спутников. И вот в назначенный срок, рассчитанный с точностью до минут и секунд, спутник пролетает над вашей головой. Кто же произвел нужные расчеты? Кто сумел так точно предсказать полет маленькой золотистой звезды, движущейся с огромной скоростью — около 30 тысяч километров в час? Ответ ясен — только цифровая электронная машина. Освоение Космоса без таких машин немыслимо.

МАШИНА ПРЕДСКАЗЫВАЕТ ПОГОДУ

Нет надобности рассказывать о том, как важно знать погоду в ближайший день, в ближайшую неделю или месяц. От состояния погоды в сильной степени зависят авиация, флот, сельское хозяйство. Поэтому предсказание погоды имеет большое народнохозяйственное значение. Еще несколько десятилетий назад прогноз погоды казался немыслимым и противоестественным. Ничто не казалось столь случайным и изменчивым, как погода.

Усилиями многих ученых-метеорологов было показано, что процессы, происходящие в атмосфере:

изменение давления, температуры, движения масс воздуха, — могут быть описаны математическим языком в виде уравнений. Для составления этих уравнений прежде всего требуется знать давления в многочисленных пунктах страны или района. Такие сведения регулярно доставляются в институты прогноза.

Смысл уравнений, с которыми приходится иметь дело метеорологам, таков: если мы знаем величины давления и температуры во многих точках территории в данный момент и физические законы их изменения во времени, то мы можем рассчитать величины давления и температуры в некоторый другой момент времени, например завтра. А зная будущее распределение этих величин, мы без труда можем предсказать, как пройдут циклоны и антициклоны, как будут двигаться массы воздуха.

Составить подобные уравнения не так-то трудно, а вот их решение до недавнего времени встречало, казалось, непреодолимые трудности. Короче говоря, на ручной расчет погоды на сутки вперед требовалось времени намного больше суток: то есть предсказываемая погода к моменту окончания расчетов оказывалась уже в прошлом.

Только создание и распространение цифровых вычислительных машин позволило применить физико-математические методы предсказания погоды и вывести эту задачу из тупика. Первый достаточно удачный прогноз погоды с помощью цифровой машины был сделан в 1950 году. С тех пор успешные опыты по машинному прогнозу были проведены в СССР и США, в Англии и Швеции.

Своеобразием задачи расчета погоды является то, что в машину вводится огромное количество исходных данных. И хотя сама по себе эта задача не так уж сложна, машина тратит немало времени на то, чтобы обработать всю эту массу сведений. До сих пор машинные прогнозы выполнялись с помощью больших универсальных машин, память которых наиболее вместительна. Однако даже большая машина не позволяет решать задачу прогноза на значительной территории.

Специалисты попытались определить, какая же

машина потребуется, чтобы в течение получаса предсказать погоду на сутки вперед на всем Северном полушарии. Что же получилось? Во-первых, такая машина должна обладать памятью на сто двенадцать тысяч чисел, и, во-вторых, от нее требуется способность совершать тридцать тысяч умножений в секунду. Из существующих машин, пожалуй, ни одна еще не удовлетворяет столь высоким требованиям. Но совершенствование цифровых машин не остановилось, и мы уверенно можем сказать, что дело предсказания погоды на большом пространстве попадает в «надежные руки».

Цифровую машину можно использовать и как безукоризненного счетовода или бухгалтера. Машина способна, например, в течение одного дня рассчитать с точностью до копейки зарплату двадцати пяти — тридцати тысяч рабочих крупного предприятия. Бухгалтерские и финансовые расчеты обычно несложны, но в машину приходится одновременно вводить и выводить из нее большое количество сведений. Поэтому в наше время появились специально приспособленные для этих целей «деловые машины».

Хочется еще сказать об исключительной пользе машин в проектном деле. Особенность проектных работ заключается в том, что приходится рассчитывать десятки вариантов какой-либо конструкции или сооружения, прежде чем появится правильное решение. Машина может в немногие минуты или часы рассчитать все варианты. А если сумеет найти общую числовую оценку для этих вариантов и заложить ее в программу, то машина сама даст ответ, какой из них наилучший.

Увлечение новинками часто бывает заразительным. Так, некоторых предприимчивых дельцов стал очень беспокоить вопрос: куда бы еще пристроить цифровую машину? Одна очень предприимчивая содержательница брачной конторы в США решила поставить цифровую машину на службу богу брака — Гименею.

Данные всех двадцати тысяч клиентов этой конторы: возраст, рост, цвет глаз и волос, профессия, доход и тому подобное — заносились на перфокарты.

А затем машине поручалось найти подходящую жену или мужа для каждого клиента или клиентки в соответствии с требованиями заказчика. Машина, конечно, справлялась и с этой работой. Ведь ей приходилось производить простую выборку. Как видите, здесь не понадобились ни случайные встречи, ни свидания, ни цветы и тому подобные «устаревшие» спутники любви. Машина отстучала свой ответ — можно смело жениться.

Заметьте, что в обоих предыдущих примерах уже проявилась крупица машинной логики. И именно с логическими способностями цифровых машин нам предстоит теперь познакомиться поближе.

МАШИНА ВМЕСТО ЧЕЛОВЕКА

Процессы мышления людей, занимающихся умственным трудом, в зависимости от их обязанностей могут протекать по-разному. Уже знакомый нам счетовод все время выполняет однообразную работу — ведет счет по заранее определенной инструкции. Приблизительно такой же характер имеет работа библиотекаря, сортирующего библиотечные карточки по написанным на них номерам. Много сходства с этим мы найдем также в труде диспетчера, следящего за своевременным прибытием или отлетом самолетов в аэропорту. Этот перечень можно было бы продолжить и дальше.

Что общего в труде счетовода и библиотекаря, диспетчера и работника отдела снабжения, распределяющего материалы между цехами завода? Общее в том, что их мышление и действия при выполнении служебных обязанностей протекают по строго определенным правилам. Если кто-либо из этих работников нарушит заранее установленное правило, он совершит ошибку в работе.

Например, диспетчер должен дать разрешение на посадку самолета только в случае его своевременного прибытия. Если самолет прибыл раньше времени, посадочная площадка может быть занята, и диспетчер не позволит произвести посадку. Он действует в соответствии с расписанием, а расписа-

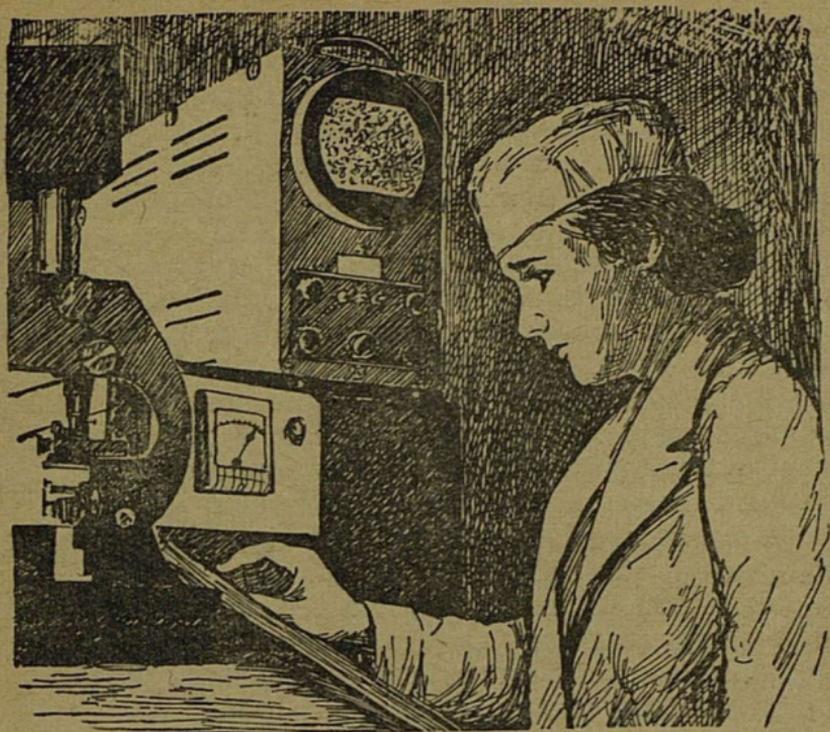
ние — это и есть заранее установленный порядок, правило.

Сравним теперь с этим труд писателя, музыканта, ученого, юриста. Можно ли сказать, что писатель или ученый мыслит в соответствии со строгими правилами или инструкциями? Конечно, нет. Мышление работников творческого труда связано с вдохновением, с многочисленными поисками образов или идей, с интуицией. Удастся ли творческую деятельность этих людей когда-либо втиснуть в рамки каких-то математических правил? Наверяд ли. Вот здесь мы подошли к очень важному выводу о том, какого рода умственную работу человека можно (сейчас или в будущем) поручить машине, и какую — нельзя.

Оказывается, любую умственную работу, протекающую по определенным четким правилам, можно поручить цифровой машине. Необходимо только эти правила выразить на математическом языке, а затем заложить в программу. На примере со счетоводом вы уже могли убедиться в этом.

Можно и работу библиотекаря — сортировщика карточек поручить машине. Нужно лишь номера на карточках — шифры книг — не записывать пером, а пробивать на перфораторе. Отверстия на каждой такой библиотечной карточке будут содержать все необходимые сведения о книге. По этим-то отверстиям машина и сможет рассортировать карточки. С подобной работой успешно справляются обычные счетно-аналитические машины. Впоследствии вы узнаете и о том, каким образом цифровая машина выполняет обязанности диспетчера.

Но есть такие виды умственного труда, которые сразу трудно отнести к одной из двух противоположных групп. Возьмем хотя бы работу переводчика. Несомненно, переводчик многое совершает, пользуясь вполне определенными правилами. Другие же стороны его труда, по первому впечатлению, никак нельзя втиснуть в рамки каких-либо правил. Много сходства с трудом переводчика можно обнаружить и в деятельности шахматиста или стенографистки. Вообще, среди самых обычных профессий, встречающихся на каждом шагу, мы найдем немало таких, относитель-



Врач у электронного «лаборанта».

по которых трудно сказать, являются ли они творческими или нет.

Нельзя судить по названию или по внешним сторонам той или иной профессии, как нельзя судить о человеке по костюму. Поэтому в наши дни многочисленные исследователи ведут кропотливую работу по отыскиванию закономерностей в различных областях умственного труда. Там, где такие закономерности уже обнаружены, машина начинает работать вместо человека.

ЭЛЕКТРОННЫЙ «МОЗГ» СНАБЖАЮТ ЗРЕНИЕМ

Каждый из вас, наверное, хорошо представляет себе работу лаборанта, производящего анализ крови. Эта работа сама по себе достаточно трудоемка. К тому же результат анализа обычно задерживается:

приходится ждать, пока произойдет химическая реакция частей крови с некоторыми веществами. Но в медицине часто анализ нужно производить без промедления. Возникла задача: а нельзя ли заметить лаборанта с его пробирками и бюретками каким-либо автоматическим прибором? Оказалось, можно.

В чем проявляется изменение состава крови? Прежде всего в том, что меняется количество красных и белых кровяных шариков. Поэтому автоматический лаборант должен обладать двумя свойствами: во-первых, видеть мельчайшие частицы и, во-вторых, уметь их подсчитать. Для этого в первую очередь понадобился обычный микроскоп. Под его объектив поместили стеклышко с мазком крови, а перед окуляром микроскопа расположили экран передающей телевизионной трубки.

Вам, наверно, известно, что в такой трубке тонкий электронный луч, выбрасываемый электронным прожектором, заставляют обегать все поле экрана по параллельным линиям. Луч, совершая свой путь, ощупывает каждую точку экрана. Не стану вдаваться в подробности работы передающей трубки. Об этом интересном приборе, как и о телевидении в целом, можно прочитать в других книгах. Скажу лишь, что, когда луч пробегает по светлomu месту экрана, с электродов трубки снимается сигнал одной величины; передвинулся луч на более темное место — пошел сигнал другой величины. Так, каждому оттенку изображения перед подобным электронным глазом соответствует свой электрический сигнал. В поле зрения нашего электронного глаза лежат частицы разной величины и окраски. Вот их-то и ощупывает электронный луч. При встрече луча с изображением каждой частицы на выходе телевизионной системы получается импульс. Казалось бы, что дальше все очень просто — сосчитать импульсы. Но здесь возникает небольшая неприятность: линии, по которым пробегает луч, очень близки друг к другу, и луч пересекает изображение каждой частицы несколько раз; поэтому от изображения большой частицы пойдет больше импульсов, чем от малой.

Если бы мы подключили к устройству осцилло-

граф и взглянули на его экран, то увидели бы на нем непрерывно меняющееся изображение многочисленных импульсов. Разобраться в этом импульсном хаосе на первый взгляд невозможно.

И вот тут-то помогло выйти из затруднения небольшое цифровое вычислительное устройство.

Его первая задача — сосчитать все импульсы, которые получились при ощупывании изображения. Эту задачу выполняет обычный электронный счетчик. Следующая задача посложнее: надо определить средний диаметр частиц. Цифровое устройство справляется и с этой обязанностью, подсчитывая среднее число импульсов, вызванных каждой частицей. Тут уж невозможно обойтись без небольшого запоминающего устройства. Ну, а когда известны общее количество импульсов и средний диаметр частиц, машине остается по известным двоичным правилам разделить первое число на второе. И вот получен окончательный ответ: красных кровяных шариков столько-то. Этот ответ можно прочесть на шкале измерительного прибора.

Работать с таким устройством очень просто: на нем всего лишь одна рукоятка для настройки. Пока человек-лаборант производит один анализ, автоматический лаборант успевает сделать их несколько и намного точнее. Все, что происходит под микроскопом, можно наблюдать на экране телевизора.

Но не только для анализа крови пригоден этот интересный прибор. Он очень удобен во всех случаях, когда требуется считать мельчайшие частицы, например бактерии или зерна фотографической эмульсии. Мало того, на основе этой же идеи ученые разработали устройство, похожее на нашего автоматического лаборанта, которое... помогало обнаруживать раковую болезнь, то есть являлось помощником врача при постановке диагноза.

Вам станет понятно, как действует такой автоматический помощник врача, если вы вспомните, что больные клетки живой ткани под микроскопом сильно отличаются от здоровых. Правда, работа этого прибора далеко не всегда протекала безошибочно. Но пока еще рано требовать большего: ведь на этом пути сделаны лишь первые шаги.

Цифровую машину можно снабдить не только электрическим зрением, но и другими своеобразными органами чувств. И тогда перед подобными ощущающими автоматами открываются новые и подчас неожиданные возможности применения. Вот об одной из них и пойдет дальше речь.

ЭЛЕКТРОННЫЙ «МОЗГ» ОБЗАВОДИТСЯ СЛУХОМ

В наше время телефонные линии тянутся на многие тысячи километров. На них расходуется огромное количество дорогостоящего металла — меди. Достаточно сказать, что только на одну телефонную линию длиной 1000 километров нужно около 200 тонн ценного металла. А сколько требуется столбов, изоляторов и других деталей! А как дорого обходится прокладка линии и ее бесперебойная эксплуатация! И если бы по ней надумали передавать только один разговор, это было бы чрезвычайно невыгодно. К счастью, от такого способа связи отказались уже давно. По одной современной телефонной линии сразу бежит несколько десятков разговоров. Разумеется, они не мешают друг другу. Но в одну телефонную линию удастся втиснуть только ограниченное число разговоров.

Растут города, строятся новые предприятия, и непрерывно возрастают требования к телефонной связи. Можно ли каким-либо способом повысить пропускную способность уже существующих линий и обойтись без строительства новых? Можно ли сделать телефонные переговоры более дешевыми? Оказывается, можно.

Вам, наверно, известно, что собой представляет звук. Звук — это колебание какой-либо среды: воздуха, воды, металла. Для передачи звука по телефону или радио его приходится превращать в электрические колебания.

Любые колебания прежде всего характеризуются частотой — количеством колебаний за единицу времени. Если за одну секунду совершается одно полное колебание, говорят, что частота равна одному герцу.

Человеческая речь составляется из колебаний разных частот — от нескольких десятков до нескольких тысяч герц. И для того чтобы при передаче она не искажалась, телефонная аппаратура обязана пропускать почти все частоты, из которых может состоять речь человека, будь то мужчина или ребенок. Мужской голос низкий, в нем преобладают низкие частоты: порядка 200—300 герц. Голос ребенка содержит значительно более высокие частоты — от 800 до 1500 герц. Кроме основных частот, речь включает в себя так называемые обертоны, которые придают голосу определенную окраску — тембр. Вот и получается, что телефон должен пропускать по крайней мере от 300 до 2500 герц.

Обходятся же эти герцы, как вы теперь знаете, достаточно дорого. Вот почему специалистов по связи уже давно волнует вопрос: нельзя ли сузить этот диапазон частот? Тогда, применив специальные средства, по одной телефонной линии можно будет одновременно передавать намного больше разговоров. Значит, связь станет дешевле. Были изобретены различные способы сжатия телефонной речи, но я расскажу лишь об одном из них, потому что и здесь дело не обошлось без думающей машины.

Все устройство в целом, важной частью которого она является, образно называли электронным мозгом с ушами. Электрическим ухом здесь служит обычный микрофон. За ним включили несколько электрических фильтров. Фильтры — это несложные электрические приборы, каждый из которых пропускает сигналы только своего пакета частот. Если, предположим, в микрофон пришел звук частотой 300 герц, то лишь один фильтр пропустит этот сигнал, а остальные его отбросят.

Действуя одновременно, фильтры расчленяют сигнал по частотам. Так как в звуке могут преобладать какие-нибудь частоты, то на выходе некоторых фильтров появятся сильные сигналы — это своего рода единицы, а на выходе других — слабые, их можно считать нулями.

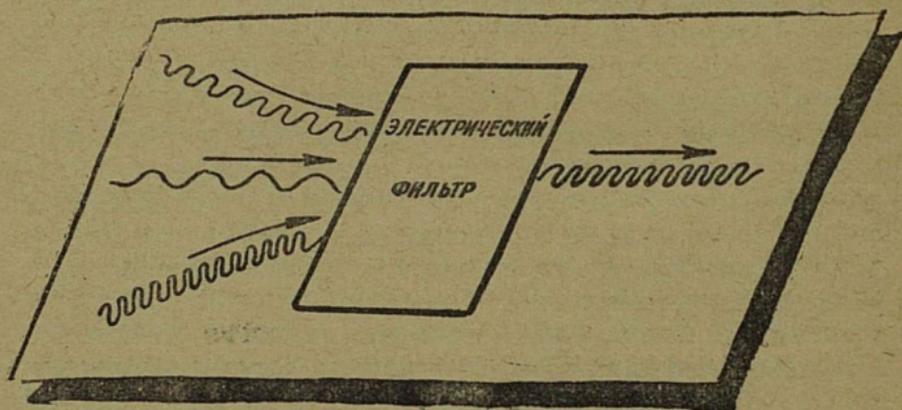
Так звук оказался превращенным в некоторое сочетание электрических нулей и единиц — двоичный код. Изменится сигнал (человек произнес другой

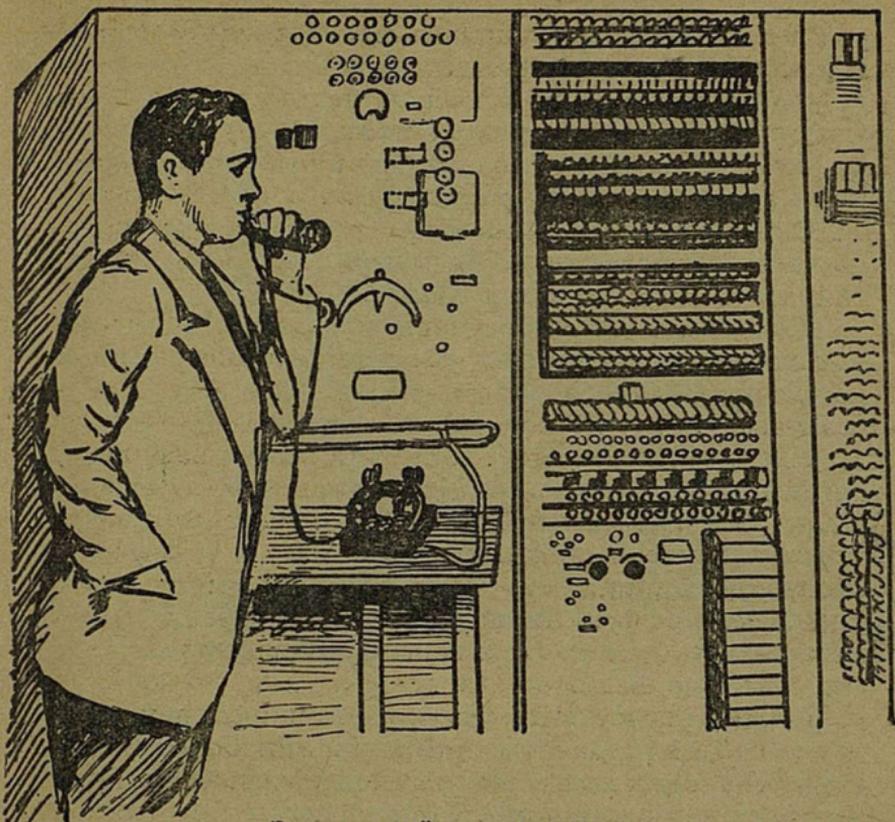
звук) — изменятся и наши сигналы, возникнет новая комбинация нулей и единиц.

Что же происходит дальше с этими единицами и нулями? Они попадают в цифровую машину. Еще заранее в ее память на языке двоичных чисел были записаны различные звуковые сочетания, которые получили название «фонемы». В каждой ячейке хранится своя фонема. Фонемы и являются теми кирпичиками, из которых слагается речь.

Когда в машину поступают определенные электрические сигналы от фильтров, она мгновенно производит сравнение каждого такого сигнала с фонемами, хранящимися в памяти. Подобное сравнение машина производит без труда. Для этого она поочередно вычитает код сигнала из всех чисел, содержащихся в памяти. Но вот при вычитании получился нуль — значит, нужная фонема найдена. И с этого момента машина теряет интерес к самой фонеме. Отныне ее интересует только номер ячейки, в которой фонема хранилась. Теперь осталось только послать в линию связи этот номер, выраженный в двоичной системе. Итак, вместо сложного звука — простое число, а вместо числа — комбинация электрических импульсов. Вот какие превращения происходят в «электронном мозге с ушами»! Вот что позволяет сжимать речь и экономить герцы!

На приемной стороне решается задача озвучивания пришедших электрических сигналов — расшифровки кодов. В зависимости от того, каким был код, включились определенные реле. В приемнике содер-





«Электронный мозг с ушами».

жится генератор, способный вырабатывать самые разнообразные колебания. Между генератором и обычной телефонной трубкой расположили уже известные вам фильтры. И вот включившиеся реле подсоединяют к телефону строго определенные фильтры. А это значит, что от генератора через них пройдут только те частоты, из которых состояло первоначальное звуковое сочетание — фонема. Различные фонемы, составляющие слово, речь, быстро следуют друг за другом, и в линию связи поочередно бегут сигналы, содержащие в себе номера фонем. В приемнике фонемы возрождаются так, как это диктуют принятые сигналы, и в телефоне слышна восстановленная речь.

В этом интересном примере цифровая машина помогла разложить речь на составные части, кото-

рые потом были переданы не в натуральном виде, как электрические колебания разных частот, а в виде кодовых сигналов. Пока еще нельзя сказать, что электрический мозг с ушами работает безукоризненно, но нельзя забывать о том, что и это лишь первые шаги в новом важном направлении.

Описанный прием позволил раз в десять сузить по частотам передаваемую речь и, значит, дал десятикратный выигрыш в затратах.

Интересно, что восстановленная речь совсем не похожа на голос говорящего: в таком телефоне вам не удалось бы по голосу узнать того, кто с вами разговаривает.

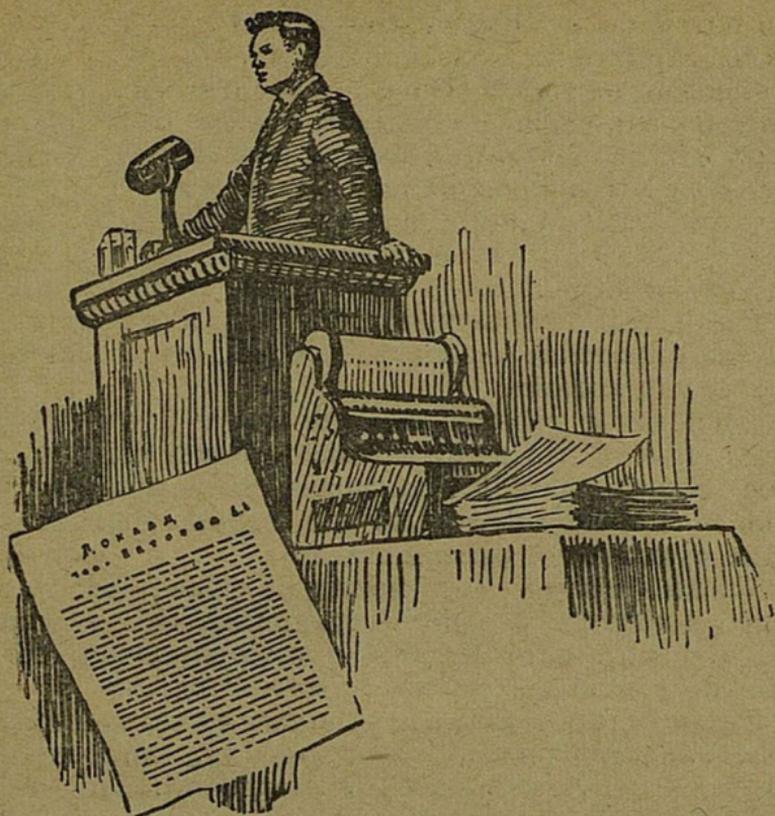
Идеи, с которыми вы только что познакомились, легли в основу еще одной интересной и многообещающей исследовательской работы. Быстрая запись произносимых человеком слов — вот ее сущность. Не правда ли, тут есть чему удивляться: человек произносит речь, и пишущая машинка сразу же печатает ее на бумаге. Но и в этом деле совершаются лишь первые шаги.

Можно представить себе, какое широкое применение найдет создаваемый в наши дни автоматический секретарь, когда работа исследователей придет к успешному окончанию. Уйдет в прошлое профессия машинистки-стенографистки.

Допустим, вы произнесли речь; значит, сразу же можете получить ее текст. Вам нужно что-то срочно передать по телефону товарищу? Вы звоните ему, и, хотя его нет на месте, не приходится огорчаться: автоматический секретарь, заранее подключенный им к телефону, запишет все, что вы скажете.

Уже можно представить себе, как это будет выполняться. Когда машина, сравнивая пришедшую фонему с хранящимися в памяти, найдет наиболее близкую к ней, она даст сигнал в печатающее устройство. Фонемы быстро следуют одна за другой — значит, и это устройство обязано печатать буквы достаточно быстро.

В деле превращения созвучий в буквы есть свои трудности, но это в основном трудности практические: надо, например, добиться скоростной печати. Можно не сомневаться, что пройдет еще немного вре-



мени — и автоматический секретарь станет таким же помощником людей в их повседневном труде, каким в наше время являются пишущая машинка и магнитофон.

Вы, должно быть, заметили, что логические способности электронного лаборанта были очень незначительными. Несложному вычислительному устройству в нем приходилось выполнять лишь простейшие действия. От цифровой машины для распознавания звуков потребовались уже более высокие достоинства: ведь ей приходится сравнивать весьма значительное количество сигналов. Но и здесь логические возможности цифровой машины еще не заговорили в полную силу.

То, о чем пойдет речь дальше, может наконец послужить ярким примером замечательных логических возможностей цифровых машин.

СНОВА О ЛОГИКЕ

Он мыслит очень логично, одна его мысль строго вытекает из другой, — говорим мы про человека, который умеет хорошо объяснить нам что-то, убедить нас, если мы заблуждаемся. Над самым процессом мышления мы обычно не задумываемся. Нас интересует только правильный результат.

Греческие философы более двух тысяч лет назад первыми начали отыскивать законы и правила, по которым протекает человеческое мышление. Зародилась наука логика.

Бесконечно разнообразными могут быть человеческие мысли. Но каждая мысль может быть разделена на небольшое число составных логических частей. И существуют только три формы мысли: понятие, суждение и умозаключение.

Слово «книга» — это понятие; фраза «книга хорошо иллюстрирована» — суждение, и, наконец, фраза «если книга хорошо иллюстрирована, то ее приятно читать» — это уже умозаключение.

Очень важную роль в «технологии» человеческого разума играют такие умозаключения, которые выводятся из двух независимых суждений. Они получили название силлогизмов. Силлогизмами насыщено все наше мышление, хотя мы либо не знаем о существовании этого названия, либо не помним о нем. Вот два суждения: «автоматы работают без вмешательства человека», «думающая машина — это автомат». Из них мы с легкостью можем вывести умозаключение, или силлогизм: «думающая машина работает без вмешательства человека».

Уже давно наука логика, которую обычно называют формальной, приняла стройный вид. И все же по поводу некоторых ее утверждений накопилось немало сомнений и возражений. В частности, формальная логика не признавала развития и противоречий в вещах и явлениях.

Но вот в начале прошлого века появилась математическая логика.

В математической логике суждения и умозаключения обозначаются буквами, а связь между ними — специальными значками. Эта наука позволила

строго математическим путем устанавливать, справедливо или несправедливо любое сложное высказывание, если истинны или ложны утверждения, от которых оно происходит. Логика учит, что любое такое высказывание можно определить, используя лишь три очень простые связи: «не», «и», «или».

Итак, высказывания, суждения, умозаключения могут быть только либо истинными, либо ложными. Третьего нет. А это значит, что истинность простого высказывания мы можем обозначить знаком 1, его ложность — знаком 0 и вычислить сложное высказывание по... законам двоичной арифметики.

Оказалось, что логические связи «не», «и», «или» удивительным образом соответствуют действиям с двоичными числами. Попытаемся разобраться в этом. Пусть 1 означает истинное высказывание, а 0 — ложное.

«НЕ» — это отрицание, оно получается всегда, когда двоичное число складывают с единицей.

$1 + 1 = 0$ — мы отрицаем правду, получаем ложь;

$0 + 1 = 1$ — мы отрицаем ложь, значит, получаем правду.

«ИЛИ» — это выбор одного из двух высказываний. Он равноценен двоичному сложению:

$0 + 0 = 0$ — выбор между ложью и ложью дает также ложь;

$1 + 0 = 1$ — выбор между правдой или ложью дает правду;

$1 + 1 = 0$ — выбор между правдой и правдой является ложью, это равносильно тому, что одну из двух истин мы отрицаем.

«И» — это совпадение двух высказываний. Оно равноценно двоичному умножению;

$0 \times 0 = 0$ — две лжи дают ложь;

$0 \times 1 = 0$ — ложь и истина не могут одновременно дать истины;

$1 \times 1 = 1$ — совпадение двух истинных фактов является правдивым.

Итак, мы снова пришли к уже знакомому двоичному языку цифровых машин. Мысль арифметизирована, логика заговорила на языке цифр. Теперь можно с уверенностью сказать: да, действительно, машина может решать логические задачи.

«В комнате собралось семь человек. Все они любители летних путешествий — туристы и охотники. Известно, что туристы всегда говорят правду, а охотники — ложь. Денисов и Жуков — туристы. Виктор говорит, что Григорьев является охотником. Андреев заявляет, что Борисов утверждает, будто Виктор знает, что Григорьев свидетельствует, что Денисов заявляет о том, что Егоров отрицает тот факт, что Жуков является туристом. Если Андреев — охотник, то сколько охотников среди присутствующих?»

Что это такое? Это очень несложная логическая задача, в которой по истинности простых высказываний необходимо рассчитать истинность сложного. Если вы захотите ее решить, то придется немало поломать голову, прежде чем вы получите правильный ответ. А ответ такой: среди присутствующих три охотника.

Цифровая машина с подобными задачами справляется без всякого труда: ведь дело сводится к двоичной арифметике. Пример с туристами и охотниками, который я привел, похож на шутку. Но, конечно, не о решении шуточных задач помышляют люди, изучая и применяя машинную логику. Множество дел требует последовательного обдумывания и сопоставления фактов, выбора наиболее правильного варианта, и здесь логические способности цифровых машин могут быть исключительно полезными.

Представьте себе, например, большое учебное заведение с тысячами студентов и сотнями аудиторий, наподобие Московского университета. В нем одновременно ведутся занятия сотнями преподавателей по многим десяткам предметов. Легко ли так распределить преподавателей по группам и обеспечить все группы помещениями, чтобы все были удовлетворены? Очень трудно.

Или другой пример — составление расписания движения сотен самолетов по воздушным линиям, проходящим через множество крупных аэропортов. Просто ли составлять подобное расписание так, чтобы каждый самолет на каждом аэродроме был своевременно принят или отправлен? Также очень не-

легко. Вот в деле решения подобных задач для цифровых машин и открывается необъятное поле деятельности.

Но здесь возникает вопрос: удобно ли в подобных случаях применять машины с программным управлением? Оказывается, далеко не всегда. Составление программ для решения логических задач — дело достаточно сложное и трудоемкое. И эта затрата труда часто не оправдывается. Намного удобнее применять специальные логические машины, в которые условие задачи вводят не с помощью перфолент или перфокарт, а вручную — посредством рукояток или штепсельных вилок.

«Анатомия» таких устройств неизмеримо проще, чем у больших электронных машин. Здесь часто можно довольствоваться несколькими десятками обыкновенных электромагнитных реле. Поворачивая рукоятки в определенное положение, за немногие минуты устанавливают исходные условия. Затем нажата пусковая кнопка, и через несколько десятков секунд на панели управления машины загораются лампочки, сообщающие результаты решения задачи.

Именно на такой очень простой машине, содержащей всего семнадцать реле, и была решена задача с туристами и охотниками.

Но вот с помощью цифровой машины понадобилось обработать чрезвычайно большое количество сведений, например произвести такую логическую операцию, как сравнение многих тысяч чисел. Можно ли и в этом случае возлагать какие-либо надежды на подобные упрощенные логические машины? Нет, нельзя. Эта задача для релейных машин непосильна: память у них неважная, да и действуют они чересчур медленно.

И вот снова приходится обращаться к электронным думающим машинам, обладающим вместительной памятью и огромным быстродействием.

Остался невыясненным еще один вопрос: а встречаются ли в действительности такие громоздкие логические задачи, о которых только что шла речь? Оказывается, подобные задачи существуют. О них-то мы сейчас и поговорим.

МАШИНА-ПЕРЕВОДЧИК

Сразу трудно поверить, что машина способна переводить с одного языка на другой. И все же это реальный факт. Уже проведены многочисленные и весьма успешные опыты по машинному переводу с различных языков. Вдумайтесь поглубже в этот процесс, и ваше неверие в возможность автоматического перевода пропадет.

Действительно, в работе переводчика многое протекает по формальным правилам. Самое основное из них и самое простое — это «взять» слово, требующее перевода, и найти по словарю равнозначное ему на другом языке. Но далее возникнут затруднения. Как узнать, в какой падеж, род, число нужно поставить переведенное слово? Как определить его место в предложении? Как поступить, если переводимое слово имеет несколько совершенно различных значений?

На все эти вопросы и на многие другие необходим был ответ в самом начале исследований по машинному переводу. Иными словами, требовалось установить четкие правила, связывающие грамматические и синтаксические признаки слов на обоих языках. И не случайно основная тяжесть подготовки первых опытов по машинному переводу легла на плечи лингвистов.

Для машинного перевода, как и для обычного, прежде всего необходим удобный для пользования словарь. Такой словарь, заранее подготовленный лингвистами, действительно закладывается в память машины. Если должен выполняться перевод с английского языка на русский, то в словаре машины мы найдем русскую и английскую части.

Как же выглядит машинный словарь? Разумеется, это не книга со столбцами слов. Под машинным словарем мы понимаем определенное электрическое состояние памяти. Если машина обладает магнитной памятью, то слова в ней будут сохраняться в виде магнитных зарядов, расположенных в определенном порядке на поверхности барабана.

Как слова превратить в заряды? Вы уже знаете, что память машины способна сохранять единицы и

нули. Значит, каждое слово для сохранения в словаре нужно записать на языке этих цифр, причем так, чтобы каждому слову соответствовало только одно определенное число. Между прочим, такая арифметизация букв и слов вам хорошо известна: ведь передача текста по телеграфу основана на замене букв цифрами. Вспомните хотя бы простейший телеграфный код Морзе: «А» — точка — тире, «Б» — тире — три точки и т. д. Эти точки и тире не что иное, как наши двоичные единицы и нули. Для машины несколько удобнее другой код — Бодо. Вот как он выглядит:

английские буквы

a	—	16
b	—	06
c	—	22
d	—	30
e	—	08
f	—	14
g	—	10
h	—	26
i	—	12
k	—	19
m	—	11
n	—	15
t	—	21

русские буквы

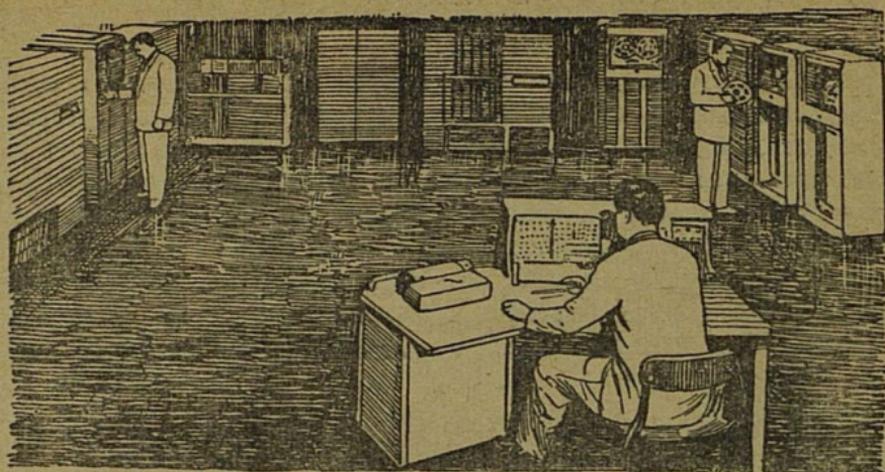
а	—	16
б	—	06
ц	—	22
д	—	30
е	—	08
ф	—	14
г	—	10
х	—	26
и	—	12
к	—	19
м	—	11
н	—	15
т	—	21

и т. д.

Если мы переведем теперь на язык цифр английское слово «think» — «думать», то получим длинное число: 2126121519. Но с таким числом машина не умеет обращаться. Ее язык — язык единиц и нулей. Поэтому в памяти машины это число будет существовать в виде:

0010000100100110000100100001010100011001.

Подобный двоичный облик в машине принимают и другие слова. Но это еще не все. Машинный словарь содержит в себе не только полноценные слова, но и их «обломки»: корни отдельных слов, падежные окончания, признаки множественного числа и многое другое. Эти детали слов необходимы для того, чтобы машина «ладила» с падежами и спряже-



Электронная цифровая машина фирмы «ИБМ».

ниями. В зависимости от некоторых признаков переводимых слов машина отберет нужные окончания.

Итак, в словаре машины есть и английские слова, и им соответствующие русские. Каждое слово помещается в своей ячейке памяти, имеющей определенный номер. Если и английское и русское слово имеют одинаковый смысл, то их «квартиры» имеют один и тот же номер.

Переводимое английское слово вводят в машину посредством перфоленты или перфокарты. Из вводного устройства оно попадает во внутреннее запоминающее устройство. А дальше начинается поиск этого же слова в английской части словаря. Для того чтобы найти нужное слово, машине приходится поочередно вычитать двоичный код переводимого слова из кодов всех слов, хранящихся в словаре. Лишь в одном случае в результате вычитания получится нуль. Это значит, коды совпали и нужное слово найдено. После этого «фамилия» жильца данной «квартиры» — данной ячейки памяти — перестает интересовать машину. У ячейки свой номер, и в дальнейшем машина будет иметь дело только с ним.

По этому номеру в русской части словаря будет найдено «место обитания» соответствующего русского слова: вспомните, что русский и английский адреса обозначены одним и тем же номером. И эта

процедура также выполняется с помощью поочередного вычитания. Когда разыскиваемый русский «жилец» будет найден, управляющее устройство извлечет его «фамилию» из памяти и пошлет в печатающее устройство. Таков основной смысл автоматического перевода.

В действительности все протекает намного сложнее по той причине, что существуют такие неприятные вещи, как склонения, спряжения, число, род, порядок слов и тому подобное. Но с этими неприятностями машину также научили справляться. И основным логическим действием машины при переводе во всех случаях будет сравнение чисел, под которые «замаскированы» слова.

Первая публичная демонстрация машинного перевода с русского языка на английский состоялась в Нью-Йорке в январе 1954 года. Переводчиком явилась электронная цифровая вычислительная машина «ИБМ-701». Этот «переводчик» в несколько секунд производил перевод довольно длинного предложения из области техники или военного дела. В полученном переводе не было обнаружено явных грамматических ошибок или погрешностей стиля. Но той легкости, с которой машина совершила перевод, предшествовала напряженная полуторагодовая работа целой группы лингвистов Джорджтаунского университета и специалистов фирмы «ИБМ».

Неужели так будет всегда — каждому секунднему переводу будут предшествовать годы труда многих людей? Конечно, нет. Наступит время, когда каждая пара языков будет всесторонне приспособлена для электронного перевода, когда станет ясно, какой же способ программирования перевода может считаться наилучшим (а таких способов несколько), и ученые создадут систему четких правил машинного перевода. Тогда истинная затрата времени на перевод станет чрезвычайно малой, а труд лингвистов будет вспоминаться как необходимый, но уже пройденный этап.

Интересны некоторые обстоятельства первой демонстрации машинного перевода. В результате труда лингвистов к этому дню была подготовлена инструкция, или программа. Ей-то и подчинялась маши-

на во время своей работы. Но для того чтобы чудеса машинного перевода ни у кого не вызывали сомнений, организаторы этого публичного показа пригласили несколько официальных лиц, не знавших ни русского языка, ни устройства цифровых машин. Этим людям вручили текст на русском языке и инструкцию, а затем просили сделать перевод, пользуясь этой инструкцией.

Знание русского языка для них действительно было необязательным. Подробная инструкция полностью его заменяла. А в ней, по сути, говорилось, как незнакомые русские слова превратить в цифры, как по этим цифрам найти в специальном словаре слова на английском языке. Ручной перевод был выполнен правильно и подтвердил ответ, данный машиной.

Для первого машинного перевода был подготовлен словарь из двухсот пятидесяти слов. Программа работы содержала две тысячи четыреста команд. Вот для чего понадобился долгий труд лингвистов. Словарь был помещен во внешнюю магнитную память машины, а перечень команд — в электрическое запоминающее устройство. Переводимое русское предложение переносили на перфокарту — переводили на известный вам двоичный язык. Машина прочитывала предложение с перфокарты и через шесть — семь секунд давала его перевод.

Если переводимому русскому слову соответствует только одно английское, перевод не составляет труда. Хуже, когда таких слов несколько. Как же выбрать нужное? Большие осложнения также возникали, когда в английском тексте, по сравнению с русским, приходилось менять порядок слов в предложении. Джорджтаунские лингвисты придумали специальные вспомогательные числовые коды. Эти коды приписывались к переводимым словам и служили теми особыми признаками, которые помогали машине ладить с падежами. Затем пришлось разработать шесть самых важных синтаксических правил, выполняя которые машина устанавливала нужный порядок слов и из нескольких слов с разным смыслом выбирала наиболее подходящее.

Вот один из примеров перевода с русского языка

Почему исследователей так интересует проблема автоматизации перевода? На этот вопрос ответить нетрудно. Здесь, правда, сразу же нужно заметить, что о машинном переводе художественной литературы никто серьезно не помышляет. Художественное произведение богато образными выражениями, новыми словами автора, звукоподражаниями, народными словечками; вообще его текст наделен такими качествами, которые невозможно подчинить формальным правилам.

Иначе обстоит дело с переводом научных или технических текстов. Здесь почти все можно втиснуть в рамки строгих правил. Во многих языках уже выработались четкие технические названия, термины, речь специалистов приобрела чуть ли не стандартный вид и, надо признать, не отличается обилием слов. Благодаря этому словарный запас машины может быть сравнительно небольшим, а поиски нужных слов в памяти становятся простыми. Взять хотя бы немецкий язык. В нем насчитывается в общей сложности около четырехсот тысяч слов. А для обычного технического текста оказываются достаточными полторы — две тысячи слов.

Сейчас всех интересует машинный перевод именно технических и научных текстов. Чтобы вам стала ясна жгучая потребность в этом, можно привести один пример. В наше время во всех уголках земного шара за год появляется в печати свыше трех миллионов статей научного, технического, экономического и хозяйственного характера. Многие из них представляют большой интерес для работников той или иной профессии в различных странах. Знание того, что делается в мире, становится непременным условием быстрого прогресса науки и техники. В то же время перевод научно-технической литературы является очень трудоемким, однообразным и весьма утомительным занятием. Достаточно сказать, что тысячи специалистов, которые выполняют переводы для Института научной информации в Москве, не успевают своевременно охватить все то новое, что ежемесячно в изобилии появляется в печати. Значит, и в этом деле нужна помощь техники.

Первыми автоматическими переводчиками, как

вы могли заметить, были универсальные цифровые машины. Но неужели и в дальнейшем только они смогут выполнять обязанности переводчика? Неужели не найдется более простого и дешевого устройства?

Опыты, поставленные на больших машинах, показали, что в деле автоматического перевода они далеки от идеала. Эти опыты помогли сделать очень важные для дальнейшего выводы о том, какой же должна быть специализированная машина-переводчик.

Стало ясным, что память машины и для хранения словаря и для хранения программы, отличающейся большой сложностью, должна обладать огромной вместительностью и высоким быстродействием. С другой стороны, оказалось, что на долю арифметического устройства машины-переводчика выпадают значительно более простые обязанности, чем в обычной вычислительной машине. Значит, арифметическое устройство можно будет серьезно упростить.

В «анатомии» будущих специализированных машин-переводчиков исключительно большую роль сыграют те новые элементы, о которых уже говорилось, а именно: полупроводниковые триоды, ферритовая память и многое другое. Машина-переводчик будет компактной, удобной и надежной в работе. И хотя мы не можем попросту вставить в один конец машины английскую книгу, а с другого получить ее русский перевод, нельзя не согласиться с одним из инициаторов машинного перевода, который предсказывает, что лет через пять разговор на разных языках с помощью думающей машины станет совершившимся фактом.

ЭЛЕКТРОННЫЙ ГРОССМЕЙСТЕР

За столиком, на котором расставлены шахматные фигуры, сидит человек. Место против него почему-то свободно. Вокруг столика толпится группа болельщиков. Они совсем не похожи на завсегдатаев шахматных состязаний. Не видно представителей

спортивного мира. Несколько известных математиков и инженеров — специалистов по вычислительным машинам — вот наблюдатели этого необычного матча.

Играющий задумался. Видимо, он размышляет над тем, какую еще неприятность можно ожидать от его отсутствующего противника. К столику подошел молодой лаборант и, глядя на небольшую бумажную ленту, передвинул шахматную фигуру. Судя по поведению этого молодого человека, не он противник нашего шахматиста. Ясно, что он только выполняет чье-то поручение. После некоторого раздумья человек за столиком делает очередной ход. Лаборант записывает его на листке бумаги и бежит в другой угол зала, где стоит какой-то аппарат, напоминающий пишущую машинку. Проходит минут пятнадцать, в течение которых наш лаборант еще несколько раз совершает свое путешествие от столика к аппарату и обратно. И вот игра окончена. Шахматист под громкий смех и аплодисменты болельщиков встает из-за стола со смущенным видом. Он проиграл. Но кому же? Кто его отсутствующий противник?

Противник, оказывается, не отсутствует. Он здесь. Это электронная цифровая машина, красивые шкафы которой стоят вдоль длинной стороны зала. Так протекал один из первых опытов по шахматной игре с цифровой машиной.

Теперь, после нескольких убедительных доказательств выдающихся логических способностей цифровых машин, вы, наверно, не очень удивились, узнав, что машина может играть в шахматы. Вдумайтесь в процесс шахматной игры, и вы согласитесь, что она протекает по строгим правилам. Прежде всего на строгом языке цифр легко можно записать положение фигур на шахматной доске.

Это, разумеется, ни у кого не вызовет сомнений. Ведь каждая клетка поля доски имеет свой определенный адрес и каждая фигура может быть однозначно названа. Основные правила игры всем хорошо известны. Пешка идет на один шаг вперед, слон передвигается по диагонали, ладья — по прямым линиям и тому подобное. В игре ценность фигур мо-

жет сильно меняться в зависимости от положения. Например, цена сдвоенной пешки ниже стоимости одиночной, король после рокировки стоит больше, чем до нее. Следовательно, на языке цифр можно записать ценность любого положения на шахматной доске.

Итак, сведения о расположении фигур и его оценка поддаются программированию. Это не представляет особого труда. А вот дальше начинаются трудности. Основная задача заключается в том, чтобы научить машину выбирать следующий ход, и не какой-нибудь, а достаточно хороший.

Какого игрока считают более сильным по сравнению с другими? Разумеется, того, который может мысленно обдумать на большее число ходов вперед все возможные варианты своих действий и ответных маневров противника и выбрать из этих вариантов наилучший. Вы видите, что сущность игры заключается в постоянном выборе одного из двух ответов: «да» или «нет». Пойти ли конем («да») или не идти им («нет»), продвинуть ли пешку с e4 на e5 («да») или оставить ее на месте («нет») и тому подобное. Операцию логического выбора с помощью языка цифр машина выполняет без труда. Значит, машина в состоянии сделать и выбор следующего хода в шахматной игре.

Особенность этой игры заключается в том, что существует огромное множество возможных вариантов расположения фигур и в любом положении нелегко сделать выбор наилучшего хода из всех допустимых. Теперь вам будет понятно, что перед каждым очередным ходом машине приходится опробовать чрезвычайно много возможных ходов. Но машина не думает, а лишь выполняет формальные действия в соответствии с программой. Поэтому, в отличие от человека, машина проверяет буквально все ходы, включая и явно бессмысленные.

Но как все-таки выбрать нужный ход, который был бы лучше других? Вот тут-то и необходима строгая численная оценка шахматной позиции. Решили оценивать фигуры по очкам. Можно, например, условиться, что король стоит 200 очков, ферзь — 9, ладья — 5, слон — 3, конь — 3, пешка — 1, отстав-

шая пешка — 0,5, сдвоенная пешка — 0,3 и так далее. Ввели еще понятие подвижности и оценили ее в 0,1 очка. Общая подвижность фигур определяется главным образом количеством свободных квадратов на шахматном поле. Можно придумать количественную оценку и для других приемов и обстоятельств игры, например для рокировки, для проходной пешки. От оценки отдельных фигур и их расположения нетрудно перейти к суммарной оценке всей позиции в лагере белых и на стороне черных. И если машина играет белыми, то в результате правильного хода суммарная оценка должна увеличиться.

Вот это обстоятельство очень важно для машинной шахматной игры: ведь в каждый момент машина знает расположение фигур, умеет выбирать любой следующий ход, и, стремясь увеличить суммарную оценку, она выбирает только хороший ход. Обычно программу составляют таким образом, что машина рассматривает различные варианты на три — четыре хода вперед. И может получиться так, что после второго хода суммарная оценка ухудшится (например, при жертве пешки), зато после четвертого хода эта оценка станет наибольшей. Машина никогда не прозеваает свою фигуру и вовремя безошибочно возьмет фигуру противника. Если есть возможность, то машина увильнет от мата, но не упустит случая сделать противнику мат, лишь бы матовая позиция попадала в число ближайших «просматриваемых» ходов.

Однако надо сразу же признать, что машина не способна играть наилучшим образом. Для того чтобы избежать чрезмерного усложнения программы, а значит, и увеличения времени поиска очередного хода, машине дают возможность продумывать лишь три — четыре хода вперед. Это не много. И все же игроку среднего класса машина окажет серьезное сопротивление.

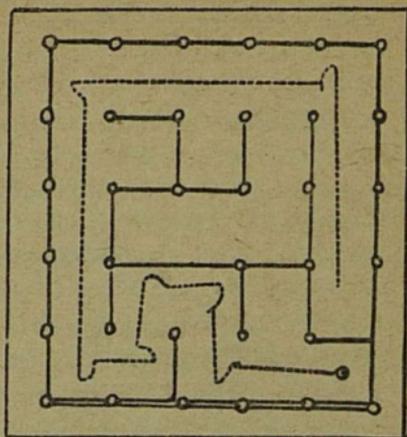
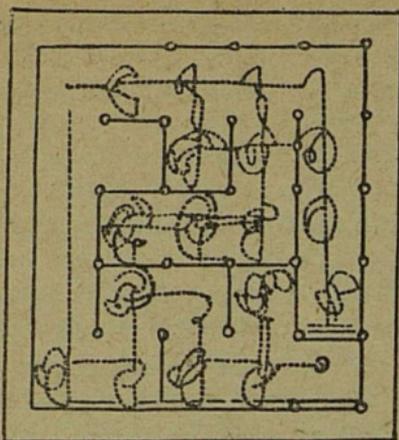
Как же протекает шахматный «разговор» с машиной? По-прежнему на языке цифр, а переводчиком служит известная нам перфокарта или перфолента. С помощью ленты очередной ход игрока вводится в машину, и на ленте же машина выдает свой ответ.

Наконец, последний вопрос: есть ли какая-либо польза от таких играющих машин? Стоит ли тратить массу времени на анализ и программирование шахматной игры? Надо прямо сказать: стоит. Дело в том, что на практике часто встречаются задачи, логика которых очень напоминает логику шахматной игры. Такова, например, тактика военных действий, таковы, например, вопросы хозяйственного планирования. Поэтому изучение машинной техники шахматной игры подводит исследователей к решению многих важных народнохозяйственных и оборонных задач. Достаточно сказать, что в одной из высших военных школ машину заставили решать задачу по тактике маневров и боя двух подразделений, и машина неплохо справлялась с обязанностями начальника штаба.

НЕМНОГО ОБ ИГРУШКАХ

Мы только что вели беседу о весьма серьезных вещах. А теперь поговорим об игрушках. Однако речь наша пойдет об игрушках несколько необычных и созданных не ради игры, а с важными научными целями.

Исследуя логические возможности цифровых машин, ученые пришли к выводу, что благодаря наличию запоминающего устройства машина может накапливать опыт или обучаться. Принципиально возможно, например, так построить программу шахматной игры, что машина с каждым разом будет улучшать свой стиль игры. Не подумайте, однако, что машина при этом оживает, что тут начинается фантастика. Просто из запоминающего устройства автоматически стираются те команды, которые приводили к неудачным ходам, а хорошие команды сохраняются. Не забывайте, что цифровая машина и сама может вырабатывать команды. Будет разумно построена программа — будут хороши и команды, придуманные машиной. Так постепенно машина обучается лучше играть. К простейшим обучаемым машинам относятся и те интересные игрушки, о которых я хочу рассказать.



Слева — «мышь» совершает свой первый поиск; справа — «мышь» идет по проторенному пути.

«Мышь в лабиринте» — так известный американский ученый Клод Шеннон назвал свою машину, созданную им для показа практически важных идей новой научной теории — теории информации. Лабиринт Шеннона представляет собой доску из 25 квадратов (5×5) со съёмными перегородками. Эти перегородки можно расставлять любым образом по сторонам квадратов — получается лабиринт. По нему заставляют двигаться «мышь» — маленький магнит на колесиках. Спереди у «мыши» имеются усики — своего рода органы осязания, которыми она прощупывает дорогу. Это попросту контакты, замыкающиеся при столкновении «мыши» с препятствием.

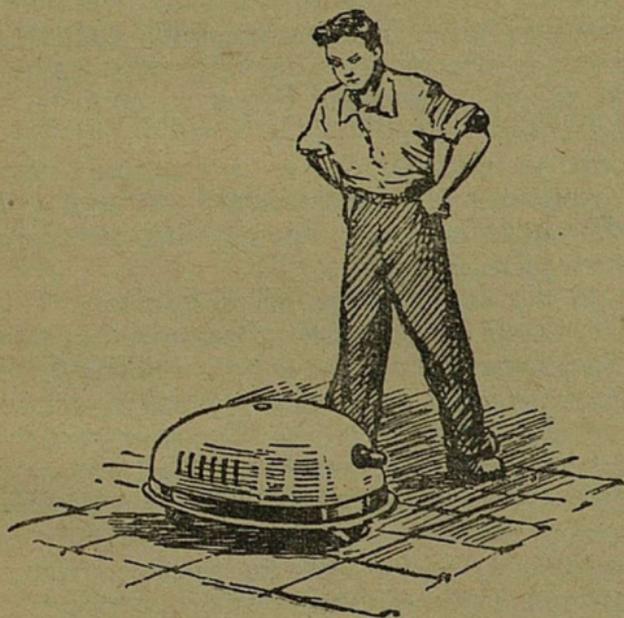
Вот «мышь» пущена в лабиринт. Ее единственное стремление — добраться до кормушки, электрического контакта, находящегося в одном из угловых квадратов. Свой первый поиск «мышь» совершает по очень запутанному пути, множество раз натывается на перегородки и все же в конце концов находит корм. Если теперь поставить «мышь» в такой квадрат, где она еще не побывала, то она снова начнет поиски, пока не выйдет на проторенную в первый раз дорогу. А отсюда она быстро доберется до цели, нигде не уклоняясь от уже знакомого пути. Похоже на то, что «мышь» запомнила этот путь. Если заста-

вить «мышь» начинать движение поочередно из каждого квадрата, то постепенно она накопит сведения о всех возможных путях и будет всегда быстро и безошибочно двигаться к «корму».

Но вот перегородка поставлена в новое положение. Как на это реагирует «мышь»? Она снова начинает свои блуждания по лабиринту. Прежние сведения в ее памяти постепенно стираются, зато накапливаются новые.

Кто же управляет «мышью»? Сравнительно несложная цифровая машина, память которой состоит всего из ста десяти реле. Сведения о пребывании «мыши» в определенном квадрате машина получает от чувствительных усиков, а выработанные команды она передает электромагниту,двигающемуся под доской лабиринта и увлекающему за собой «мышь».

Такая модель живого существа не единственная. Различными изобретателями были созданы несколько «черепаш» и «белка», разыскивающая пищу и перетаскивающая найденные «орехи» в свою нору. Успешные опыты по созданию обучаемых автоматов



Электронная «черепашка» ищет «пищу».

были проведены и в нашей стране. Вот как ведет себя одна из «черепах» — самая молодая и поэтому самая умная из всего семейства механических пресмыкающихся.

Ее конструктор сделал успешную попытку изобразить несколько простейших повадок живого существа: поиск пищи, испуг от громкого звука, выработку условного рефлекса. Кормушкой для «черепахи» служил источник света. Когда «черепаху» ставили вдали от кормушки, она двигалась сначала по прямой линии, а затем по спирали и наконец упиралась в кормушку.

Но вот на пути «черепахи» поставили препятствие. Сначала она сталкивается с препятствием, потом пятится, поворачивается направо и обходит это препятствие. При резком звуке «черепаха» останавливается — «пугается», «замирает».

А вот как проявляется ее условный рефлекс. При столкновении «черепахи» с преградой, после которого она обычно совершала обходное движение, стали подавать звуковой сигнал. Эту процедуру повторили несколько раз. «Черепаха» стала подчиняться звуковому сигналу и обходить препятствие, не дожидаясь столкновения с ним. Теперь можно совсем убрать препятствие — все равно под влиянием звука механическое пресмыкающееся будет совершать огибающее движение.

Недолго удерживается в «черепахе» этот рефлекс. Постепенно урок забывается, и, для того чтобы восстановить рефлекс, необходимо несколько раз снова повторить урок.

Какова же «анатомия» этого существа?

Вместо ног у «черепахи» шасси с тремя колесиками. На шасси расположена небольшая цифровая машина, важную роль в которой играют полупроводниковые триоды — транзисторы. Здесь же находится и батарея, питающая машину электрическим током. Органами чувств «черепаха» намного богаче «мышь» Шеннона. Звук «черепаха» улавливает с помощью микрофона, свет — посредством фотоэлемента, а органом осязания служит буфер, расположенный спереди и с боков. Весит она всего 3 килограмма.

Автоматических животных, подобных этой «че-

репахе», развелось в последнее время достаточно много. Нашлось и в этом деле немало предприимчивых дельцов, которых интересовала не столько наука, сколько прибыль. Ведь демонстрация искусственных животных всегда привлекает массу зрителей. Достаточно сказать, что на ярмарке в швейцарском городе Лозанне в 1955 году демонстрировали целый «кибернетический зверинец». Здесь был говорящий человекообразный автомат — робот, три искусственных животных и еще несколько не менее удивительных аппаратов.

Но есть во всем этом и серьезная сторона. Искусственные животные, вроде «мыши» или «черепахи», наглядно показывают, что некоторые процессы в живых организмах можно с успехом моделировать, изображать при помощи новейших технических средств.

Однако надо сказать, что машины, имитирующие поведение животных, чересчур просты и выполняют крайне несложные логические действия. Гораздо успешнее пойдет исследование процессов обучения животных, выработки рефлексов, когда к этому важному делу ученые по-настоящему привлекут универсальные цифровые машины.

ЦИФРОВАЯ МАШИНА УПРАВЛЯЕТ

Есть еще одна важная область техники, где для цифровых машин открывается необъятное поле деятельности. Речь идет об автоматике. Вы несомненно знаете, что в наше время автоматика стала успешно хозяйничать буквально повсюду и во всем. Можно было бы привести чуть ли не бесконечный список тех дел, тех задач, выполнение которых теперь возлагают на автоматику. В нем мы нашли бы и автоматическое управление мощными станами и автоматическую защиту огромных электрических генераторов от разрушительного действия аварийных токов, автоматическую блокировку на железнодорожном транспорте и метро, которая позволяет безопасно на высоких скоростях водить поезда. В этот список попали бы хлебозаводы-автоматы и полно-

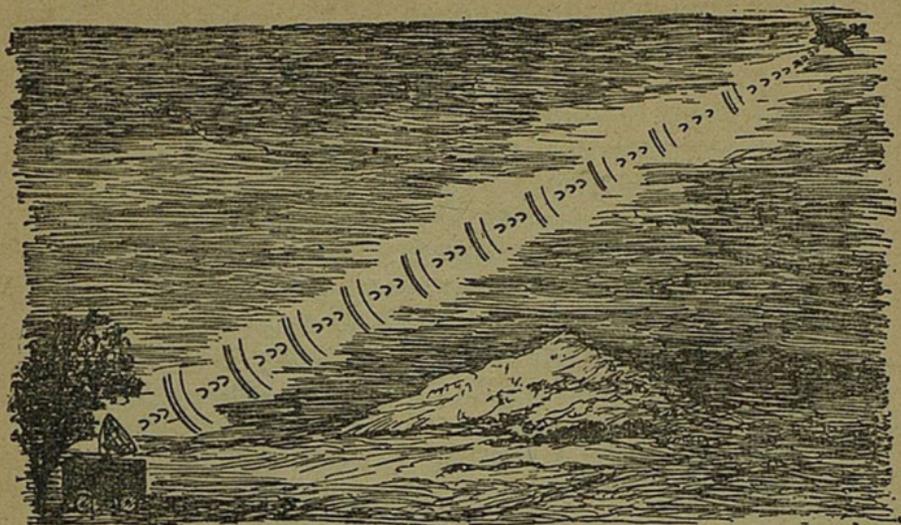
стью автоматизированные заводы по изготовлению автомобильных и тракторных деталей. В нем нашлось бы место для плавучих радио-метеорологических станций и для воздушных шаров — радиозондов, автоматически ведущих наблюдение за погодой и регулярно посылающих метеосводки. Без автоматики ныне не обходятся ни авиация, ни флот, ни химическая промышленность, ни машиностроение.

Но прекратим это перечисление. Мы смело можем назвать наш век не только веком электричества, атомной энергии и радио, но также и веком автоматики. Кстати, сами цифровые машины являются классическими образчиками автоматических устройств. Ведь после того, как в машину ввели программу, она совершает огромное количество разнообразных действий автоматически, без вмешательства человека.

В наши дни автоматика пустила корни в различные производственные процессы и несет поэтому самые разнообразные обязанности. Среди многочисленных ответвлений автоматики весьма почетное место занимает автоматическое регулирование и управление.

Многие процессы в промышленности, на транспорте, в военной технике стали настолько сложными и быстрыми, что ими уже невозможно управлять вручную. Достаточно, например, сказать, что при полете новейших реактивных самолетов со скоростью, в два раза превышающей скорость звука, органы чувств летчиков не успевают действовать, а при больших ускорениях человек даже кратковременно теряет сознание. Физиология человека не приспособлена к таким скоростям.

Нет никакого смысла заставлять рабочего действовать вручную и в спокойном производстве, если с его обязанностями куда лучше справится автоматический регулятор. Такие регуляторы стали ныне незаметными и незамечимыми помощниками людей во многом. На электрических станциях регуляторы строго следят за тем, чтобы не менялись частота и напряжение тока. Авиационный автоматический прибор — автопилот — многие часы самостоятельно ведет самолет по курсу. На огромной бумагодела-



Антенна радиолокатора, поймав своим лучом летящий самолет, следит за ним.

тельной машине регулирующие устройства отвечают за то, чтобы все многочисленные валы вращались строго согласованно. Нарушится эта согласованность — разорвется или сомнется бумажная лента.

Основная «черта характера» всех этих регуляторов — упрямство, настойчивость в поддержании какой-либо величины.

Но существуют устройства, обладающие прямо противоположным свойством — податливостью. Это разнообразные следящие системы. Пока что это название ничего вам не говорит. Но два — три примера все объяснят.

Антенна радиолокатора, поймав своим лучом летящий самолет, непрерывно поворачивается — следит за ним. Командует антенной следящая система. Не будь следящих систем, радиолокация наполовину утратила бы свою ценность.

Видели ли вы, как закрываются створки ворот шлюза на канале? Напомню вам: строго одновременно. Это совершается благодаря участию своеобразной следящей системы. Невозможно обойтись без следящих систем на современном корабле. Рулевой одним пальцем может заставить повернуться много-

тонный руль большого корабля. Кто помогает ему в этом? Следящая система. Как видите, следящая система обязана точно повторять слабый сигнал, превращая его в мощное воздействие.

Познакомившись даже с этими немногими примерами, вы, наверно, проникнетесь уважением к регулирующим и следящим устройствам, заменяющим или неизмеримо облегчающим труд людей.

Во многих и многих случаях эта разумная автоматика вполне хороша, и лучшего нам не требуется. Но жизнь идет, техника совершенствуется, скорости возрастают, и возникают новые задачи и потребности.

Еще два десятка лет назад автопилот, например, казался чудом техники. А сейчас автопилот никого не удивит, он стал равноправным членом семьи разнообразных авиационных приборов, да и способности его оказываются ограниченными. Представьте себе, что нам нужно посадить самолет без вмешательства летчика. Может ли выполнить такую задачу обычный автопилот? Нет, не может. Вы уже знаете, что основное свойство автопилота — упрямство. И если при полете самолета по курсу упрямство было полезным, то при посадке оно попросту вредит. Если автопилот не отключить, то он погонит самолет дальше по прямой линии. Таков только один пример того, как старая автоматика оказывается неспособной удовлетворить новые требования.

Но, может быть, эти требования к автоматике придумал, взял с потолка какой-нибудь досужий человек? Разумеется, нет. Их предъявляет сама жизнь. Почему, например, стали помышлять об автоматической посадке самолета? Потому, что на современный аэродром за один только час прибывают десятки, а то и сотни самолетов, другие десятки его покидают, обстоятельства меняются ежеминутно, и во всем этом сложном хозяйстве автоматика — хорошая, вполне современная автоматика — разберется гораздо лучше, чем человек.

Мало того, что автоматика по сравнению с людьми способна работать намного быстрее, — человек может быть утомленным, рассеянным, взволнованным; значит, в его работе не исключены ошибки.

Когда же создают автоматическое устройство, то в спокойной обстановке продумывают каждую мелочь. Поэтому правильно сконструированная автоматика не совершает ошибок.

Итак, от новейшей автоматики требуется нечто большее, чем простое упрямство или особая податливость. Современные регулирующие и управляющие устройства должны обладать способностью учитывать изменение обстановки, приспосабливаться к новым условиям, из нескольких возможных способов управления выбирать наилучший.

Как видите, требования суровые. От автоматических устройств — ящичков с электронными лампами, транзисторами, сопротивлениями и тому подобными деталями — мы ждем чуть ли не способности самостоятельно думать и действовать.

Кто же может придать автоматике эти новые важные свойства? Ответ ясен — цифровые машины. Это уже не пожелание на будущее, а реальный факт. Мы являемся теперь свидетелями стремительного проникновения цифровых машин не только в область математических вычислений, но и непосредственно на производство, транспорт, в военное дело. В этой своей новой роли цифровые машины получили название управляющих.

В чем отличие управляющих машин от обычных вычислительных? Какими они должны быть? Прежде всего исключительно надежными. Если ошибется вычислительная машина, то решение задачи можно повторить и в конце концов мы получим правильный ответ. Управляющая машина не имеет права ошибаться. В противном случае возможен брак, а то и авария. Поэтому в новых надежных элементах — транзисторах, ферритовой памяти и других — в первую очередь нуждаются именно управляющие машины. Электронным лампам в этом деле пока еще, а может быть, и *уже*, доверять по-настоящему нельзя.

Вычислительная машина живет обособленной жизнью. С внешним миром она общается только кратковременно через ввод и вывод с помощью перфокарты, перфоленты или магнитной ленты. Решила машина задачу — ее можно остановить или поручить решение какой-либо другой задачи.

В отличие от этого, управляющая машина тесно связана с внешним миром; ведь она является неотъемлемой частью, своего рода мыслительным центром сложного автоматического устройства. Для того чтобы машина могла «со знанием дела» выполнять свои обязанности, она должна своевременно узнавать о том, как протекает управляемый ею процесс. Значит, она нуждается в соответствующих «органах чувств» — измерительных устройствах. Переработав полученные сведения, машина время от времени выдает приказы. Значит, нужны послушные исполнители этих приказов — какие-то силовые механизмы.

Как только такой механизм исполнит команду, это сразу же будет уловлено измерительным устройством, и в машину пойдет новый сигнал. Заметили ли вы, что круг чувствительный орган — машина — исполнительный механизм замкнулся? Создалась, как говорят инженеры, обратная связь. Именно наличие замкнутой цепи воздействий или обратной связи и является очень важной чертой многих и многих регулирующих устройств. Если хотите, и живое существо, связанное с окружающей его средой, представляет собой сложную замкнутую систему регулирования.

Примеры таких живых «систем с обратной связью» встречаются на каждом шагу. Обычно мы попросту не обращаем на это внимания. Представьте себе, что вы хотите взять в руки предмет. При прикосновении к нему вы узнаете, что он чересчур горяч. Получив такое сообщение от органа осязания — руки, ваш мозг заставляет ваши легкие, рот и губы подуть на этот предмет — охладить его. Теперь предмет можно взять. В этом процессе участвовали: два своеобразных измерительных органа — глаза и пальцы рук, устройство для обработки сообщений — мозг, и, наконец, два исполнительных органа, осуществляющих обратную связь, — губы и руки.

Вы, конечно, помните, что математикам приходится любую задачу переводить на двоичный язык машины. На этом же языке мыслит и управляющая машина. А в измерительных устройствах обычно вы-

рабатываются непрерывные сигналы, например плавно меняющиеся электрические напряжения, которые для машины являются языком чуждым и непонятным. Поэтому создателям управляющих машин приходится решать еще одну проблему: как перейти от непрерывного сигнала к двоичному коду — электрическому языку машины. И эта задача также успешно решается с помощью специальных приборов — преобразователей. Если понадобится, то команду, выработанную машиной на двоичном языке, можно превратить в непрерывный сигнал. И для этой цели найдутся соответствующие устройства.

А теперь пора перейти к рассказу о реальных деяниях управляющих машин.

ЛЕТЧИК-«БЕЗДЕЛЬНИК»

Большой воздушный корабль поднялся с аэродрома и лег на курс. По существу, летчику теперь самому нечего делать: остается только наблюдать, все ли идет благополучно. Мало того, и штурман также превратился в наблюдателя. Все, от начала до конца, выполнит за них сложная и разумная автоматика. И мозгом этой автоматике является цифровая управляющая машина.

Еще до полета в память машины заложили с помощью перфокарты подробную программу ее работы. В перфокарте были зашифрованы необходимые сведения: место отправления, координаты пункта назначения, над каким городом самолет должен пролететь, где изменить курс. В отличие от упрямого автопилота, управляющая машина может вести самолет даже по ломаной линии.

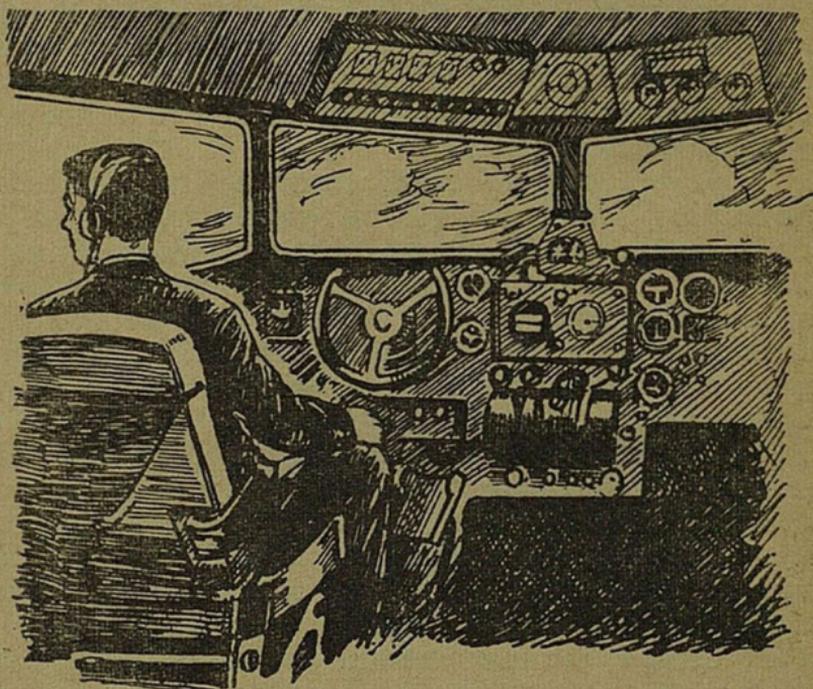
Но это только исходные сведения. А как же точно узнать местонахождение самолета в полете вдали от пункта отправления? Здесь на помощь и штурману, и управляющей машине приходит радионавигация, то есть техника вождения воздушных, а также и морских кораблей по радиоориентирам, радиомаякам. Смысл радионавигации несложен. В двух — трех городах устанавливают радиостанции, непрерывно посылающие сигналы в эфир. Приняв эти сиг-

налы, штурман с помощью приборов всегда сможет рассчитать местонахождение корабля.

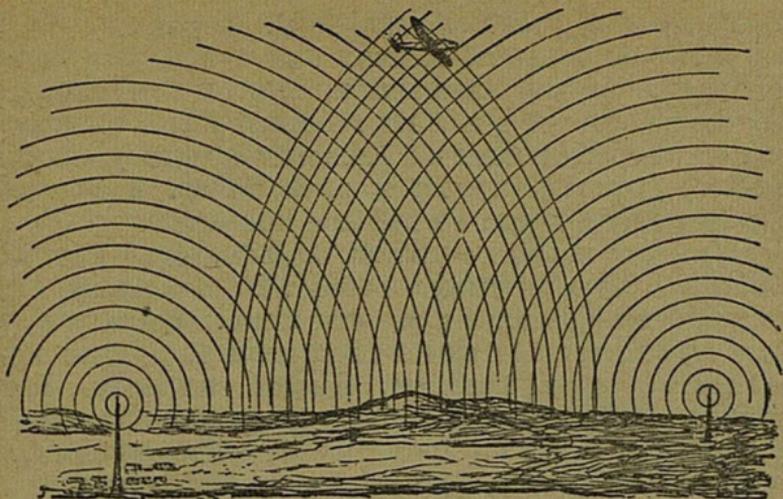
Но раз на самолете есть вычислительная машина, штурману не придется делать и этого. Действительно, получая от приемников радионавигационных сигналов необходимые сведения, она, непрерывно решая тригонометрическую задачу, определяет положение самолета в каждый момент времени. Зная, где самолет находится, и помня, куда он должен лететь, машина без труда решает и вторую задачу — насколько нужно изменить положение самолета, чтобы он летел точно к цели.

Послушный управляющей машине автопилот ведет самолет строго по курсу, командуя его рулями. Эта машина настолько умна, что и при нарушении радиосвязи постарается привести воздушный корабль к цели, хоть и не так точно.

Если бы мы заглянули в кабину пилота во время посадки самолета, то с удивлением обнаружили бы, что пилот по-прежнему «бездельничает». Он



Летчик превратился в наблюдателя.



Принимая сигналы от радиомаяков, вычислительная машина определяет положение самолета.

лишь следит за приборами, по которым можно видеть, что самолет снижается и меняет курс. Кто же теперь управляет самолетом? Снова сложная и разумная машина, правда не та, о которой только что шла речь. Вот как выглядит эта исключительно мудрая автоматическая система.

Аэродром, на который должен приземлиться самолет, оборудован специальными посадочными радиолокационными установками. Когда самолет был в 50—60 километрах от места посадки, один из этих локаторов поймал его своим радиолучом. С этого момента и начинается кипучая деятельность всей посадочной автоматики. Приняв отраженные от самолета радиосигналы, локатор может сообщить, в каком направлении летит и как далеко находится воздушный корабль. Помимо радиолокатора, необходимые сведения доставляет система радиотелеметрии, то есть устройство точной передачи измерений разных величин с помощью радио. Так, на землю идут сообщения о скорости движения самолета, запасе горючего и еще о многом другом.

Кому же нужны эти сведения? Конечно, они представляют интерес для диспетчера, следящего за

прибытием и отлетом воздушных кораблей. Но в значительно большей степени они нужны аэродромной цифровой управляющей машине. С помощью все тех же перфокарт в память машины вводят расписание прибытия самолетов. Нашему самолету, как и любому другому, присвоен свой номер, и машина заранее знает, когда он должен прибыть.

Получив первые сигналы от локатора, машина начинает свою разумную работу. На основании сведений, содержащихся в памяти и получаемых от локатора, она вырабатывает свой первый приказ для самолета: курс такой-то, высота такая-то. Этот приказ в виде зашифрованных сигналов посылается на самолет. Здесь он принимается радиоприемными устройствами, расшифровывается аппаратурой телемеханики и поступает в автопилот. Приказ выполнен: самолет снизился и немного изменил курс.

Радиолокатор сразу же улавливает эти изменения и передает в управляющую машину новые сведения о самолете. Та снова совершает свою разумную работу, вырабатывает и посылает новый приказ. Самолет так же послушно выполнит и этот приказ. Проходит немного времени, и вот он уже на посадочной площадке. Посадка произошла без вмешательства человека.

Способности аэродромной управляющей машины не ограничиваются тем, о чем только что было сказано. Представьте себе, что самолет прибыл на несколько минут раньше срока и посадочная площадка занята. Не произойдет ли столкновения самолетов на земле? Ни в коем случае! Машина строго следит за порядком на аэродроме и заставит самолет совершить несколько кругов, пока площадка не будет освобождена. Машина производит нужные расчеты крайне быстро, а приказы на самолет имеет смысл посылать не чаще, чем раз в полминуты. Поэтому машина много времени могла бы быть «безработной». Но бездельничать ей не дают. Одна машина одновременно командует посадкой четырнадцати самолетов.

ДОЛОЙ БРАК!

Итак, мы «спустились на землю» и теперь можем заняться земными обязанностями управляющих машин. Следующий пример будет более скромным, чем первый, но он покажет, что управляющая машина может оказаться исключительно полезной там, где, казалось, ей и делать нечего.

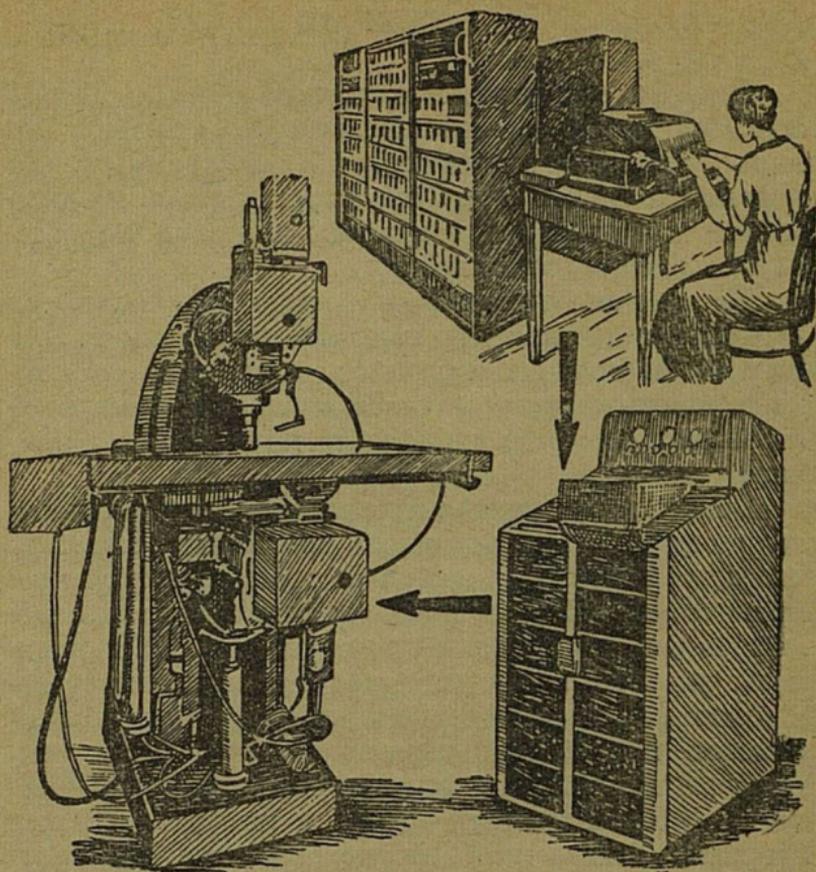
На электротехническом заводе изготавливаются электрические аппараты высокого напряжения. Для того чтобы получить хорошую изоляцию между токоведущими частями, в такой аппарат закладывают большое количество бумаги, пропитанной изоляционным маслом.

Вскоре после начала производства этих аппаратов на завод стали поступать тревожные сигналы: «аппарат поврежден, изоляция пробита высоким напряжением». Исследовательская лаборатория занялась изучением причины этих аварий. Обнаружилось, что бумага, поступающая на завод, имеет неодинаковую толщину вдоль листа. После долгих поисков попробовали вводить больше масла там, где бумага потолще, и меньше в тонких местах. Оказалось, что после такой пропитки изоляция служит исправно. Теперь стал вопрос, как же подобную разумную пропитку вести в непрерывном массовом производстве? И был найден очень удачный выход.

Прежде всего, раз толщина бумаги играет такую важную роль, ее необходимо каким-то образом непрерывно измерять. Для этой цели использовали ценное достижение техники нашего времени — радиоактивный измеритель толщины. Над движущейся бумажной лентой поместили крупинку радиоактивного вещества, испускающего поток мельчайших частиц (например, электронов). Под лентой расположили приемник излучения — счетчик.

Если против излучателя оказывается более толстый участок бумаги, в приемник попадает меньшее число частиц, и наоборот.

Приемник частиц вырабатывает сигналы, которые фактически несут в себе сообщение о толщине бумаги. Наиболее почетная роль во всем этом устройстве выпадает на долю небольшой управляющей



Фрезерный станок, управляемый цифровой машиной.

машины, которая была для этого специально разработана в лаборатории. В нее-то и поступают сигналы от приемника излучений.

Действие всего устройства крайне несложно. Бумажная лента движется мимо измерителя толщины. От этого своеобразного органа чувств машина узнает о толщине бумаги в данный момент и сразу же решает задачу: сколько же масла надо ввести в бумагу, если ее толщина такая-то? Результат решения этой задачи представляет собой команду для исполнительного устройства — заслонки пропиточного аппарата. Заслонки все время движутся, дышат, пропуская к бумаге строго заданное количество масла. Когда устройство заработало нормально, аварии аппаратов полностью прекратились.

ОДИН ЧАС ВМЕСТО ЧЕТЫРНАДЦАТИ ДНЕЙ

Управляющие машины обещают произвести серьезные перемены, подлинный технический переворот в металлообрабатывающей промышленности. Многие сложные детали различных машин, станков, аппаратов требуют чрезвычайно большого расхода времени на их изготовление, если применять обычные станки. В массовом производстве это обходится дорого. Не случайно уже давно инженеры озабочены вопросом: как ускорить изготовление трудоемких деталей?

Еще каких-нибудь пять — шесть лет назад многие специалисты были увлечены тогдашней технической новинкой — автоматическими копировальными фрезерными станками. Режущий инструмент такого станка — фреза — в точности повторяла движение чувствительной головки, в которую был помещен фотоэлемент. Этот прибор, способный преобразовывать свет в электрический ток, перемещался вдоль контура чертежа детали. Всеми движениями в устройстве управляла следящая система. Так в соответствии с чертежом из материала вырезалась деталь. Хотя работа подобных станков была достаточно эффективной, они все же не получили широкого распространения, так как были капризны в работе, да и не могли справляться со сложными деталями.

Удовлетворить требования машиностроителей смогли лишь цифровые управляющие машины. Сейчас они уже выходят из лабораторий и прочно занимают свое место в заводских цехах.

Вот как устроен и как работает современный электронный фрезеровщик. Начали с того, что для управления станками создали небольшую вычислительную машину. С этой задачей, конечно, успешно справилась бы и большая универсальная машина. Но приобретать такую дорогостоящую аппаратуру заводу не было никакого смысла.

Далее пришлось позаботиться о том, чтобы управляющая машина была снабжена органом чувств — измерительным устройством, и своеобразным органом движения — устройством исполнительным. Измерительное и исполнительное устройства устано-

вили на станке. Теперь любое перемещение стола станка не останется незамеченным со стороны машины. Режущий инструмент будет приводить в движение не рабочий с помощью рукояток, а исполнительное устройство с помощью специальных двигателей и зубчатых передач.

Всем известно, что никакой мастер не возьмется за изготовление мало-мальски сложной детали без чертежа. А вот наш автоматический фрезеровщик не нуждается в чертеже. Вместо чертежа детали конструктор составляет таблицу всех ее характерных размеров. Когда такая таблица готова, ее отпечатывают, но не с помощью пишущей машинки, а на перфораторе, из которого все сведения о детали выходят в виде уже известных вам отверстий в целлулоидной ленте. А дальше — обычная считка ленты во вводимом устройстве машины.

Заметьте, что здесь применяется лента не из бумаги, а из более прочного материала. Ведь если понадобится изготовить несколько сот, а то и тысяч деталей, то ленту придется пропускать через вводное устройство множество раз. Бумага не выдержала бы такой нагрузки.

Теперь остается установить заготовку детали на столе станка, закрепить ее и запустить станок и автоматику в работу.

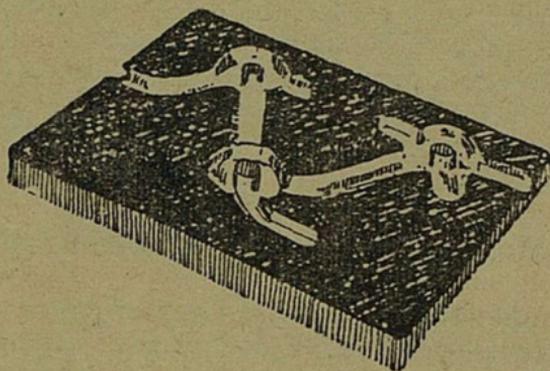
Дальше все делается без вмешательства человека. Фреза завертелась и приготовилась к работе. Управляющая машина расшифровала первую команду, сохранившуюся в памяти, и выработала первый приказ: «переместить стол станка на столько-то». Этот приказ в виде электрических сигналов пошел в исполнительное устройство, двигатели которого с помощью зубчатых колес передвинули стол с заготовкой относительно фрезы.

Фреза в первый раз вступила в схватку с металлом заготовки, а перемещение стола было уловлено измерительным устройством, которое свое ощущение, также в виде электрического сигнала, передало в управляющую машину.

Узнав, в каком положении находится деталь, машина, подчиняясь программе, вырабатывает следующий приказ исполнительному устройству. Далее вся

эта процедура повторяется, и каждое новое движение стола с деталью совершается таким образом, что из-под фрезы постепенно вырисовывается сложное очертание детали.

Пожалуй, во всем этом для вас уже нет ничего



Эта деталь изготовлена без вмешательства человека.

удивительного. Зато поразительна производительность подобной автоматики. На одном авиационном заводе с помощью управляющей машины стали изготавливать лопатки для турбин реактивных двигателей. Раньше на производство одной лопатки уходило целых четырнадцать дней. А теперь? Всего один час!

На другом заводе обработка кулачка для точного прибора занимала три недели. За два часа выполняет эту же работу станок, управляемый цифровой машиной.

Однако этим не ограничиваются деловые способности управляющей машины на заводе. Свойства машины позволяют конструктору задавать сравнительно небольшое количество характерных точек детали. И все-таки она получается очень точной. Дело в том, что все промежуточные точки контура детали машина вычисляет сама. И сама же на основании расчетов командует станком.

Управляющая машина способна действовать чрезвычайно быстро. В то же время обработка металла — процесс довольно медленный: доли милли-

метра в секунду. Поэтому исполнительное устройство станка нуждается в приказах не слишком часто. Что же, выходит, машина должна простаивать, бездействовать?

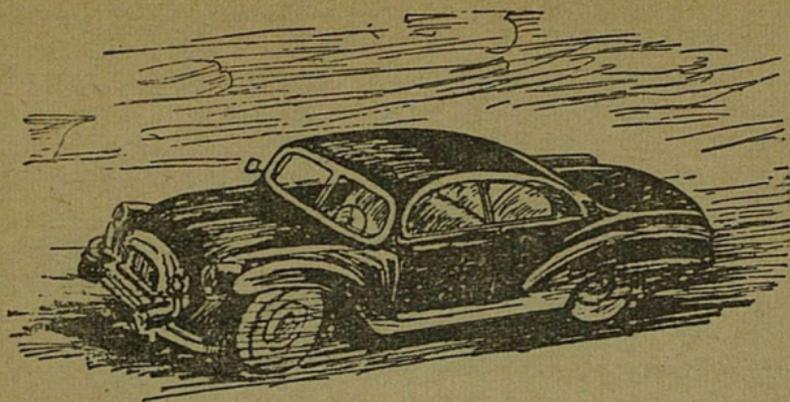
Ни в коем случае! Надо заставить ее работать в полную силу. Решили поручить одной управляющей машине командовать несколькими станками одновременно. Опыт увенчался исключительным успехом. Теперь машина может распоряжаться 8, 12, 20 и даже 60 станками. Таковы производственные возможности цифровых машин.

ГДЕ ФАНТАЗИЯ И ГДЕ ДЕЙСТВИТЕЛЬНОСТЬ?

По улице плавно движется автомашина. Она спокойно объезжает переходящих дорогу пешеходов, замедляет ход у перекрестка, останавливается перед группой заигравшихся на мостовой ребятишек. Машина как будто ничем не отличается от других. Но вдруг вы замечаете, что место у руля... свободно. Неужели машиной никто не управляет?! Если вы имеете в виду шофера, то его действительно нет.

Однако автомобиль движется, повинаясь чьей-то воле. Снова цифровая управляющая машина заменила человека, причем заменила в таком сложном и напряженном деле, как вождение автомобиля по улицам большого города. Быть может, это выдумка? Ничуть! Я описал вам картину первого, пока еще очень простого и очень короткого, но весьма многообещающего опыта. Правда, действия этого автоматического шофера во время опыта непрерывно контролировались по радио с другой автомашины. Да и нельзя было сразу предоставить автоматике полную самостоятельность. Требовалось многое проверить и проследить.

Трудно сказать, что дадут последующие опыты. Быть может, наступит время, когда каждая машина, выходящая из ворот автозавода, будет оснащена не только радиоприемником и электрозажигалкой, но и электронным шофером. Ведь стал же автопилот обязательной принадлежностью большинства со-



Шофера нет!

временных самолетов. Человек, сидящий за рулем такой будущей автомашины, сможет в пути читать книгу, осматривать окрестности, беседовать со спутниками, подолгу не притрагиваясь к рулю.

Если автоматический шофер — это кусочек будущего, то автоматический регулировщик уличного движения успешно конкурирует с человеком-регулирующим уже теперь. И снова человека заменяет цифровая машина, оснащенная электронными органами зрения — радиолокаторами.

Не так давно люди наладили автоматизированное производство отдельных узлов электронной аппаратуры. Сейчас на повестке дня более сложная задача — автоматическое изготовление целых радиоприемников и электронных устройств. В США заканчивается строительство одного из первых полностью автоматизированных заводов радиоаппаратуры. Он будет выпускать за один день до тысячи радиоприемников. Будущий посетитель такого завода встретит там только двух рабочих. И здесь почетная роль несомненно будет принадлежать управляющим машинам. Так электроника поможет создавать электронику.

Уже работают нефтеперерабатывающие заводы, где трудно встретить людей и полновластными распорядителями являются управляющие машины. Ученые и инженеры сейчас серьезно изучают вопрос, как применить цифровую машину для автомати-

ческого управления плавкой металла. Этот процесс отличается большой сложностью, и здесь предстоит решить еще немало важных технических задач. Но можно не сомневаться — недалеко то время, когда управляющая машина-металлург заменит многих людей возле доменной печи, а труд оставшихся делает более легким и спокойным.

Через несколько лет мощные электростанции и сети Европейской части нашей страны с помощью линий электропередачи сольются в единое гигантское энергетическое объединение. И здесь на управляющую машину возложат исключительно ответственные обязанности.

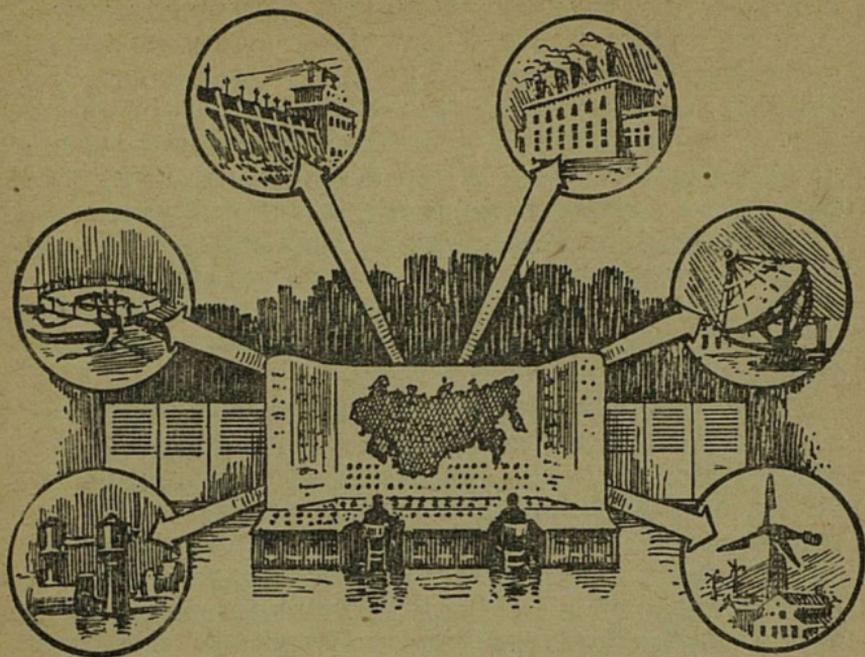
Управляющая машина, расположенная на диспетчерском пункте объединения, станет распоряжаться в огромном хозяйстве, которое будет простираться на многие миллионы квадратных километров. Средства телемеханики понесут к управляющей машине сообщения о работе всех важнейших электростанций, и также с помощью телемеханики обратно на станции полетят приказы, выработанные этим будущим автоматическим диспетчером.

Управляющая машина будет следить за тем, чтобы все объединение работало наиболее экономично. Самые скромные подсчеты сулят огромную экономию, которую дает применение думающей машины в качестве автоматического диспетчера. Сотни миллионов рублей — такой будет ежегодная экономия!

Думающие машины переживают пору своего детства и отрочества. Но как много разнообразных дел можно им поручать уже сейчас! Что же дадут людям думающие машины, когда они вступят в период зрелости, станут еще более быстрыми, надежными и повсеместно доступными? Здесь вам предоставляется возможность смело фантазировать. И многие из этих фантазий сбудутся наверняка.

НЕМНОГО ФИЛОСОФИИ

Наша беседа о думающих машинах близится к концу. Мы ее начали с рассказа о совсем простых вещах: электрических импульсах, простой двоич-



Управляющая машина станет распоряжаться в огромном энергетическом хозяйстве Европейской части нашей страны.

ной арифметике, несложных импульсных ячейках. Двигаясь все дальше и дальше, мы добрались наконец до тех поразительных примеров, в которых логические возможности цифровых машин заговорили в полную силу.

Машина безукоризненно и быстро считает, машина переводит с одного языка на другой, машина играет в шахматы и другие игры, машина управляет самолетом или станком, машина имитирует повадки и рефлексы животного, машина обучается... Все это невольно вызовет у вас множество серьезных вопросов.

Мыслит ли машина? Может ли машина-автомат воспроизвести самое себя? Какова будет роль человека, когда думающие машины проникнут во все отрасли человеческой деятельности? Вот первые вопросы, на которые следует сейчас дать ответ.

Будет ли этот ответ исчерпывающим? Разумеется, нет! По поводу всего этого уже написано множе-

ство статей в толстых журналах, выпущено немало солидных книг. Здесь я попытаюсь привести только несколько азбучных истин кибернетики, которые могут вам пригодиться для дальнейших размышлений.

Кибернетика? Что это такое? Слово «кибернетика» произошло от древнегреческого слова «кибернетес», что в переводе на русский язык означает «рулевой, кормчий, управляющий движением». Кибернетика — это новая отрасль науки, материалистической науки, которая занимается, по существу, исследованием сложных самоуправляющихся систем.

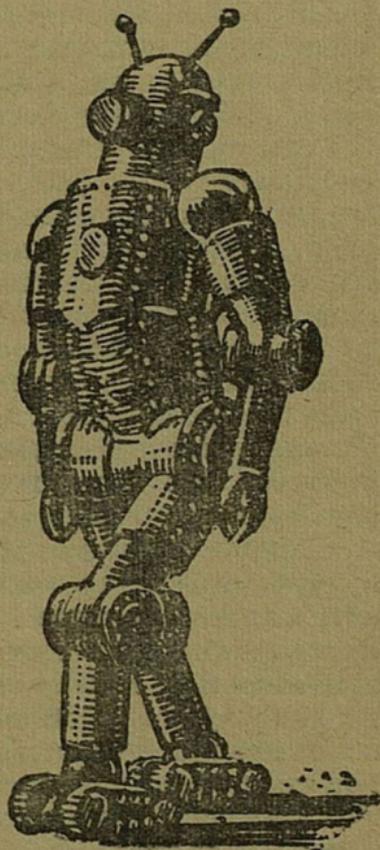
Важная особенность кибернетики заключается в том, что она изучает самые различные по своей физической природе процессы. Кибернетика проникает поэтому одновременно и в технику — в мир автоматических машин и механизмов, и в биологию — в мир живых существ, стремясь повсюду находить и применять точные математические методы исследования. Особый интерес для кибернетики представляет деятельность нервной системы: ведь именно нервная система и мозг *управляют* всеми действиями живого организма, всеми процессами в нем. Кибернетика оформилась как новое научное течение вместе с рождением быстродействующих цифровых машин. Эти машины и явились для кибернетики главным инструментом исследований.

Работы физиологов показали, что нервные клетки в живом организме действуют по принципу «да» — «нет», возбуждаются или тормозятся. Здесь сразу же проявилось сходство (но не тождество) между элементами, из которых составляется цифровая машина, — реле, и нервными клетками — нейронами. В машине есть запоминающее устройство, в какой-то степени сходное с центрами памяти в мозгу животного. Это подобие и позволяет применять цифровую машину как модель процессов в головном мозгу и нервной системе, позволяет глубже проникнуть в сущность сложных физиологических явлений. В то же время изучение деятельности живых организмов позволяет совершенствовать автоматику, и здесь цифровая машина перестает быть моделью, а сама становится частью саморегулирующейся системы.

Большое внешнее сходство между работой цифровой машины и деятельностью мозга, поразительные логические возможности цифровых машин привели к появлению на Западе своеобразных теоретических «вывихов». Цифровыми машинами восхищались, выражения «электронный мозг», «механизированное мышление» и т. п. не сходили со страниц газет и журналов. Появлялись полусуточные-полусерьезные рассуждения о «творческих способностях» машин, о машинах-стихотворцах, о машинах-роботах, вытесняющих людей.

Все это подогревало атмосферу и наводило туман на довольно ясный вопрос. Некоторые утверждали, например, что человеческий мозг — это тоже вычислительная машина, только медленно действующая, поэтому людям придется уступить поле деятельности машинам, что в будущем люди будут порабощены мыслящими машинами.

В каком же отношении находятся думающие машины и мозг? Начнем с количественной разницы между ними, которая чрезвычайно велика. В мозгу человека более десяти миллиардов нервных клеток, а в современной машине только десять — двадцать



тысяч элементов. В ближайшие годы их будет насчитываться до ста тысяч, не более. Создать машину, равноценную мозгу по количеству элементов, практически невозможно.

Один из ученых очень живописно обрисовал это, подсчитав, что такая машина имела бы размеры самого большого нью-йоркского небоскреба; для ее питания потребовалась бы вся энергия ниагарских электростанций, а для охлаждения — сама река Ниагара. При применении транзисторов дело, правда, обстояло бы лучше, но все равно никому в голову не придет идея действительно заниматься созданием такой сверхгигантской машины.

Количественная разница между машиной и мозгом, которую, вероятно, никогда не удастся, да и не понадобится, устранять, приводит к огромному качественному различию. Число возможных связей между клетками мозга неизмеримо больше, чем между элементами машины. В мозгу эти связи все время находятся в движении, в развитии: одни стираются, другие возникают в еще большем количестве. Поэтому так разнообразно и богато оттенками человеческое мышление.

Отдельные части цифровой машины в процессе работы точно соединяются проводящими путями. Нарушится в одном месте такой путь — машина даст неправильный результат. Деятельность человеческого мозга не зависит от состояния, от исправности отдельного нерва, отдельной клетки. В мозгу множество обходных путей. Поэтому работа мозга намного богаче и намного надежнее. Не забудьте, что мозг работает безотказно многие десятилетия. А машина еще не скоро станет такой долговечной.

Придет, конечно, время, когда элементы машины станут очень надежными. Но и тогда самая сложная машина не сможет состязаться с человеческим мозгом ни по количеству прямых связей между элементами, ни по числу обходных путей.

Мозг человека обладает удивительной способностью приспособляться к изменяющимся обстоятельствам и с большой гибкостью управлять другими органами. По сравнению с ним машина выглядит упрямым болваном.

Мозг с исключительной точностью может вызывать тысячи разнообразных движений рук, ног, туловища, головы. Он управляет сотнями различных мышц. Как примитивна, как убога по сравнению с ним любая управляющая машина, которая командует только двумя — тремя движениями какого-либо объекта, например самолета или инструмента металлообрабатывающего станка.

Сейчас многие ученые-математики ведут напряженную и кропотливую работу по упрощению программ. Они стремятся добиться того, чтобы машина довольствовалась самым малым количеством исходных величин и команд, а все остальное делала сама. Можно ли добиться того, чтобы от начала до конца машина действовала вовсе без программы? Иными словами, может ли машина самостоятельно мыслить? Ни один серьезный ученый не взял на себя смелость сказать «да». Быть может, со временем и удастся так упростить программы, что 99 процентов всей мыслительной работы будет приходиться на машину. И все-таки первые и самые важные шаги машина всегда будет совершать по воле человека. Вдумайтесь во все это, и вы согласитесь, что не машина сходна с мозгом, а действие машины, которая снабжена программой, напоминает работу мозга.

Итак, машина не мыслит! Она только обрабатывает сведения, которые посылает в нее человек. Значит, машина умна только благодаря человеку.

Нельзя, наконец, умолчать еще об одном важном свойстве человеческого мозга. Мозг — это не изолированная машина, а часть сложного и богатого разнообразными процессами организма. Мозг не только управляет деятельностью остальных частей тела, но и сам живет и развивается благодаря работе многих органов. Он непрерывно улучшается, совершенствуется: его память все время обогащается новыми сведениями и никогда не насыщается. И пока существует человечество, этот процесс будет продолжаться.

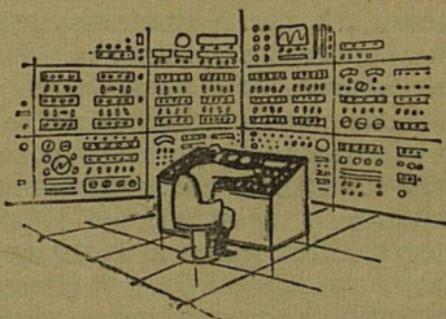
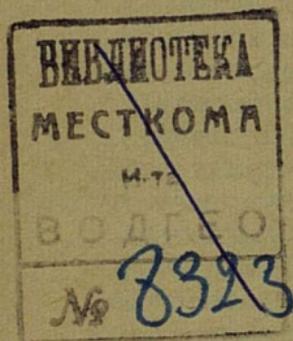
Сможет ли машина приобрести способность к самосовершенствованию, к улучшению без участия человека? Некоторые ученые-теоретики считают, что принципиально возможно сконструировать такую очень сложную машину-автомат, которая без вмеша-

тельства людей будет создавать на заводе другие думающие машины, более сложные, чем она сама. Пока еще такой машины не существует. Да и трудно сказать, будет ли она когда-либо существовать. Здесь необъятное поле для далеко заходящих фантазий. А тем временем человеческий гений будет все дальше развиваться, проникая в глубь неизвестного, создавая новые замечательные творения.

Веру в свободного человека, в его творческие способности, в непрестанное развитие его мышления, в его энергию, в его труд — вот что мы можем вынести из наших недолгих размышлений, навеянных вопросами и идеями кибернетики.

Люди силой своего мозга и рук создали множество сложнейших машин, аппаратов, механизмов. Создали они и думающие машины. Будущее потребует от людей разработки новых, еще более разумных машин: самообучающихся, саморемонтирующихся, машин с исключительно развитой памятью, с отличными органами чувств и органами движения.

Все это понадобится для дальнейшей автоматизации труда, для облегчения жизни, для счастья людей. И в этом деле никакая машина не сможет вытеснить, заменить человека. Думающие машины будут лишь вездесущими, быстрыми и надежными помощниками людей в их труде и быту.



О Г Л А В Л Е Н И Е

Вскользь о многом	5
Прежде всего — облегчить счет	9
Машины-модели	15
Революция в мире вычислений	22
Импульсы и цифры	28
От импульсов к арифметике и... логике	41
«Общение» с внешним миром. Память	46
Немного о «мыслительных способностях» машины	52
От старой техники к новой	58
Без проводов и пайки	63
Цифровая машина работает	67
Машина предсказывает погоду	70
Машина вместо человека	73
Электронный «мозг» снабжают зрением	75
Электронный «мозг» обзаводится слухом	78
Снова о логике	84
Машина-переводчик	88
Электронный гроссмейстер	95
Немного об игрушках	99
Цифровая машина управляет	103
Летчик-«бездельник»	109
Долой брак!	113
Один час вместо четырнадцати дней	115
Где фантазия и где действительность?	118
Немного философии	120

Рисунки А. Порывкина
Оформление Б. Кыштымова

ДЛЯ СРЕДНЕЙ ШКОЛЫ

Рейнберг Михаил Германович

ДУМАЮЩИЕ МАШИНЫ

Ответственные редакторы
Т. В. Левенштейн и Б. И. Смагин.

Художественный редактор
Н. Г. Холодовская.

Технический редактор
Г. Н. Шевченко.

Корректор
Р. С. Мишелевич.

Сдано в набор 11/IX 1957 г. Подписано к печати 21/XII 1957 г. Формат 84×108^{1/32} — 8 печ. л. = 657 усл. печ. л. (6,37 уч.-изд. л.). Тираж 100 000 экз. А11175. Цена 2 р. 90 к. Детгиз. Москва, М. Черкасский пер., 1.

Фабрика детской книги Детгиза.
Москва, Сушеvский вал, 49.
Заказ № 2889.

100-

5

Цена 2 р. 90 к.

Детизн-1957