

## ДОБАВЛЕНИЕ 2

### НЕКОТОРЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ УНИВЕРСАЛЬНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИНАХ

Цель этого добавления — дать самые общие сведения о современных вычислительных машинах, принципах их работы и их использовании. Его нельзя, конечно, рассматривать как сколько-нибудь систематическое изложение теории вычислительных машин и методов программирования. Для более подробного ознакомления с этими вопросами следует обратиться к специальной литературе.

#### § 1. Общие сведения о вычислительных машинах

**1. Введение.** Многие задачи, возникающие в физике, технике и других областях, требуют для получения окончательных, практически важных результатов проведения весьма громоздких и трудоемких вычислений. Часто объем этой вычислительной работы оказывается столь большим, что выполнить ее вручную практически невозможно, или же она требует так много времени, что при этом сам результат счета успеваеет потерять всякую ценность. Например бессмысленно для предсказания погоды на сутки вперед пользоваться методом, который требует месяца вычислительной работы.

Количество задач, в которых требуются и проведение больших вычислений и быстрое получение результата, особенно возросло в последнее время в связи, например, с автоматизацией производства и другими потребностями техники.

Уже давно люди пользовались для облегчения и ускорения вычислений различными техническими приспособлениями. Однако коренное изменение положения здесь произошло за последние 10—20 лет, когда появились быстродействующие вычислительные машины, основанные на применении радиоэлектронных элементов и схем.

Эта новая область техники за короткий срок достигла поразительных успехов. Появились вычислительные машины, выполняющие несколько десятков и даже сотен тысяч арифметических операций

в секунду. Это позволяет успешно решать такие задачи, сама постановка которых при ручном способе вычислений была бы безнадежной.

Появление электронных вычислительных машин не только расширило возможности применения математических методов в прикладных вопросах, но и повлияло на развитие самой математики. В математической логике, приближенном анализе возникли новые задачи и целые новые направления. Теория вычислительных машин, вопросы программирования (см. об этом § 3) составляют сейчас один из важных разделов математики.

В наши дни вычислительная техника используется в самых различных областях. Поэтому знакомство с основными свойствами и принципами действия вычислительных машин, их возможностями и особенностями необходимо людям разных специальностей, в том числе и каждому физику.

**2. Основные типы вычислительных машин.** Вычислительные машины разделяются по принципу их действия на два больших класса: машины дискретного действия, называемые также цифровыми вычислительными машинами, и машины непрерывного действия, называемые также аналоговыми устройствами. В цифровых машинах операции выполняются над числами, представленными в той или иной системе счисления. Величины, вводимые в машины непрерывного действия, изображаются (моделируются) значениями каких-либо физических величин (сил тока, напряжений, механических смещений и т. п.), которые могут меняться непрерывно. При этом в цифровую форму переводится лишь окончательный результат вычислений. Машины непрерывного действия находят применение в ряде задач (главным образом там, где не требуется большой точности вычислений), однако в современной вычислительной математике они играют значительно меньшую роль, чем машины дискретного действия.

Ниже, говоря о вычислительных машинах, мы будем иметь в виду только цифровые машины.

По своему назначению цифровые вычислительные машины делятся обычно на специализированные, т. е. рассчитанные на решение задач определенного, сравнительно узкого класса, и универсальные, т. е. вычислительные машины, предназначенные для решения весьма разнообразных задач, как вычислительных, так и логических (например, перевод с одного языка на другой). Именно универсальные цифровые вычислительные машины (короче УЦВМ) мы и будем здесь рассматривать.

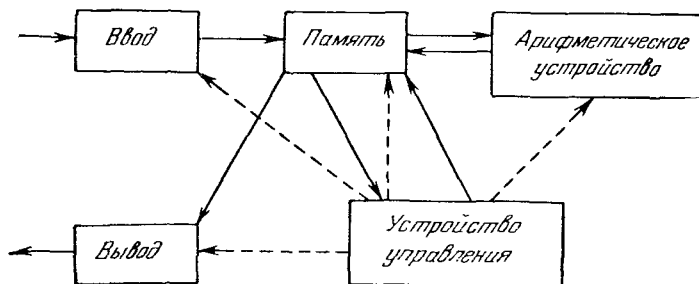
Возможность применения одной и той же УЦВМ для разнообразных задач представляет собой большое преимущество машин этого типа. Следует, однако, иметь в виду, что непосредственно УЦВМ может выполнять лишь некоторый, ограниченный набор основных операций (о них будет сказано в § 2), поэтому для решения той или иной конкретной задачи на УЦВМ необходимо свести решение этой

задачи к определенной последовательности тех операций, которые может выполнять машина, т. е., как обычно говорят, необходимо составить для машины программу, соответствующую данной задаче. Таким образом, каждая задача требует для своего решения на УЦВМ определенной, подчас довольно сложной подготовки — программирования, т. е. составления программы, отвечающей этой задаче. Элементарные сведения о программировании и простейшие примеры программ приведены в § 3 этого добавления.

**3. Основные узлы УЦВМ и их назначение.** Как уже было сказано выше, всякая УЦВМ может выполнять некоторые элементарные операции, арифметические и логические. Кроме того, при решении задач выполняется ряд других функций, а именно: ввод в машину исходных данных и команд, хранение этих данных и промежуточных результатов, вывод окончательных результатов. В соответствии с этим каждая УЦВМ, независимо от ее конструктивных особенностей, должна иметь следующие основные узлы:

1. Устройство ввода — (УВ).
2. Запоминающее устройство (или память) — (ЗУ).
3. Арифметическое устройство — (АУ).
4. Устройство управления — (УУ).
5. Устройство вывода — (УВыв.).

Принципиальную схему любой УЦВМ можно изобразить так:



Сплошные стрелки на этой схеме указывают направления передачи информации, а пунктирные — направления, по которым идут управляющие сигналы.

Рассмотрим вкратце роль каждого узла.

1. *Ввод* — устройство, предназначенное для введения в машину как исходных данных, так и тех правил (команд), по которым машина должна действовать при решении данной задачи. Исходные данные и команды должны быть представлены в той форме, в которой машина их может воспринимать; обычно их записывают либо на магнитную ленту, либо на перфоленту, либо на перфокарты.

На магнитной ленте информация записывается с помощью чередования намагниченных и ненамагниченных участков.

На перфоленте (представляющей собой обычную бумажную ленту) запись делается с помощью отверстий, которые пробиваются в этой ленте на определенных местах.

На перфокарте запись делается также путем пробивания определенных отверстий. Стандартная перфокарта имеет вид, показанный на стр. 577. Такие перфокарты широко применяются в вычислительных машинах.

2. *Память* (запоминающее устройство) машины предназначена для хранения и выдачи команд, хранения исходных данных и промежуточных результатов, необходимых для дальнейших вычислений. Запоминающее устройство состоит из ряда запумерованных ячеек, каждая из которых имеет определенное число разрядов. Любая из этих ячеек может быть использована либо для хранения чисел, либо для хранения команд. Как видно из приведенной выше схемы, запоминающее устройство машины непосредственно связано со всеми остальными блоками. Через ввод сюда поступают исходные данные для решения задачи и соответствующий этой задаче набор команд (программа). Из запоминающего устройства числа поступают в арифметическое устройство, где выполняются арифметические операции, а результаты снова поступают в запоминающее устройство.

Для решения сложных задач нужны машины с запоминающими устройствами возможно большей емкости. Вместе с тем важно, чтобы выбор необходимых данных из запоминающего устройства происходил быстро. Для того чтобы совместить эти два требования, запоминающее устройство обычно составляют из двух блоков: быстродействующей оперативной (или внутренней) памяти ограниченной емкости и внешней памяти, имеющей большой объем, но действующей сравнительно медленно. Внешняя память с арифметическим устройством непосредственно не связана: данные из нее поступают по мере необходимости в оперативную память и только потом перерабатываются арифметическим устройством.

3. *Арифметическое устройство* — та часть машины, в которой выполняются арифметические операции. Какие именно операции должны быть предусмотрены в машине, будет сказано ниже.

4. *Устройство управления* интерпретирует (т. е. переводит в определенные электрические сигналы) команды, входящие в программу, и посылает соответствующие сигналы в остальные узлы машины. Устройство управления определяет (в соответствии с заданной программой) работу всех устройств, входящих в состав вычислительной машины.

Автоматическое (в соответствии с заданной программой) управление — один из важнейших принципов работы УЦВМ, поскольку никакое ручное управление не могло бы обеспечить той скорости, с какой работает электронная вычислительная машина.



5. *Устройство вывода* предназначается для записи в удобной форме ответов задачи или каких-либо промежуточных данных, которые желательно сохранить. Вывод данных может осуществляться в различной форме: на перфокартах или на перфоленте, в виде цифр, отпечатанных на бумажной ленте, или же в виде записи на магнитной ленте.

4. **Системы счисления, используемые в УЦВМ.** Если мы производим с числами какие-либо операции, то, независимо от того, выполняются ли эти операции вручную или на вычислительной машине, мы должны пользоваться каким-либо определенным способом записи чисел, т. е. некоторой системой счисления. В настоящее время повсеместно распространена десятичная система, в которой каждое число изображается в виде комбинации степеней числа 10. Так, например,

$$2548$$

есть сокращенная запись выражения

$$2 \cdot 10^3 + 5 \cdot 10^2 + 4 \cdot 10^1 + 8 \cdot 10^0.$$

В десятичной системе каждое число записывается с помощью цифр 0, 1, ..., 9, а операции над числами выполняются по общеизвестным правилам.

Однако за основание системы счисления можно было бы взять любое другое целое положительное число, отличное от единицы \*). *Логически наиболее проста двоичная система*, в которой каждое число представляется как комбинация степеней двойки. Например,  $13 = 1 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0$ . Для этой системы требуется всего две цифры: 0 и 1, так как уже число 2 представляет собой единицу следующего разряда.

Посмотрим теперь, какую систему счисления удобнее всего использовать в цифровых вычислительных машинах. Заметим прежде всего следующее. Если мы пользуемся системой счисления с некоторым основанием  $p$ , то у нас в каждом разряде будут участвовать  $p$  цифр (например, в десятичной системе используется 10 цифр, в двоичной 2 цифры и т. д.). Для того чтобы иметь возможность фиксировать в машине  $p$  различных цифр, нужно, чтобы в этой машине были устройства, имеющие  $p$  устойчивых состояний, каждое из которых изображало бы определенную цифру.

При тех скоростях, с которыми работают современные вычислительные машины (как правило, десятки и сотни тысяч операций в

---

\*) Системы счисления, отличные от десятичной, действительно были в употреблении у разных народов. С математической точки зрения десятичная система не имеет никаких специальных преимуществ. Ее распространенность исторически связана с тем, что десять пальцев на обеих руках были той первой «вычислительной машиной», которой человек пользовался с незапамятных времен.

секунду), было бы трудно пользоваться для фиксации чисел в машине какими-либо механическими устройствами. Однако такие скорости легко могут обеспечить радиоэлектронные устройства (радиолампы, полупроводниковые элементы и т. п.), практически безынерционные. Такие радиоэлектронные устройства имеют, как правило, два устойчивых состояния. Например, радиолампа может быть или «отперта» (ток через нее идет), или «заперта» (тогда через нее ток не идет). Эти свойства радиоэлектронной аппаратуры приводят к тому, что в современной вычислительной технике именно двоичная система нашла самое широкое применение.

Важное достоинство двоичной системы составляет также простота тех правил, по которым в этой системе выполняются арифметические операции. Например, вся «таблица умножения» для двоичной системы исчерпывается следующими равенствами:

$$0 \cdot 0 = 0, \quad 1 \cdot 0 = 0 \cdot 1 = 0, \quad 1 \cdot 1 = 1.$$

Некоторое неудобство двоичной системы состоит в необходимости перевода исходных данных из десятичной системы (которой мы пользуемся обычно) в двоичную и обратного перевода результатов машинного счета из двоичной в десятичную. Впрочем, эта операция перевода чисел из одной системы в другую несложна и легко может быть автоматизирована.

Помимо двоичной системы, в вычислительных машинах используются также восьмеричная система (т. е. система с основанием 8) и смешанная двоично-десятичная система. Эта последняя состоит в том, что каждое число сперва представляется в десятичной системе, а затем каждая входящая в него цифра записывается по двоичной системе. Например, число

5386

в двоично-десятичной системе имеет вид

0101; 0011; 1000; 0110.

Очевидно, что для представления одного десятичного разряда (т. е. всех цифр от 0 до 9) нужно отвести 4 двоичных разряда.

В некоторых вычислительных машинах\*) применяются элементы, имеющие не два, а три устойчивых состояния (скажем, ток идет, ток идет в обратном направлении, ток не идет). Арифметика этих машин основана не на двоичной, а на троичной системе счисления.

**5. Представление чисел в вычислительной машине.** В вычислительной машине оперируют с числами, имеющими определенное

\*) К ним относится, например, отечественная машина «Сетунь».

(для данной машины) число разрядов. (В реально существующих конструкциях обычно бывает 30—40 двоичных разрядов.) Если число содержит меньше значащих цифр, то свободные разряды слева заполняются нулями. Если же некоторое число содержит больше цифр, чем предусмотрено разрядов в машине, то это число при вводе в машину округляется (т. е. отбрасываются его младшие разряды). Ограниченность числа разрядов ограничивает, таким образом, и ту точность, с которой мы можем вести вычисления на УЦВМ.

Так как в любой задаче приходится оперировать не только с положительными, но и с отрицательными числами, то нужно предусмотреть способ, с помощью которого в машине фиксируется знак числа. Обычно для этой цели выделяется один разряд (первый слева) и в этом разряде ставят 0, если число положительно, и 1, если отрицательно.

Далее, в вычислительных задачах нам приходится иметь дело, вообще говоря, с дробными числами. Поэтому в машине должна быть предусмотрена, как и в обычной записи чисел, «запятая», отделяющая целую часть числа от дробной. Положение этой запятой может или меняться в процессе вычислений (машины с «плавающей» запятой), или же быть раз навсегда фиксированным (машины с фиксированной запятой). В этом последнем случае число разрядов в целой части числа строго фиксированное. Машины с фиксированной запятой менее удобны: в них для каждой задачи приходится вводить определенные «масштабные факторы», приводящие все встречающиеся в задаче числа к тому порядку величин, который предусмотрен в машине. Однако с точки зрения логической и конструктивной эти машины проще, чем машины с плавающей запятой.

## § 2. Основные операции, выполняемые УЦВМ. Команды

**1. Типы операций.** Мы уже говорили, что работа УЦВМ состоит в выполнении некоторого, сравнительно небольшого числа основных операций. Теоретически можно было бы свести все действия, выполняемые машиной, всего лишь к нескольким, действительно элементарным, действиям. Однако это вызвало бы значительные трудности при составлении программ и при использовании машин. Поэтому в реально существующих машинах не стремятся свести набор основных операций к минимальному. Увеличение количества основных операций усложняет конструкцию, но зато существенно облегчает использование машины. Набор основных операций в различных машинах бывает различным, однако в любой УЦВМ имеются операции следующих типов:

- 1) основные арифметические операции;
- 2) дополнительные операции вычислительного назначения;
- 3) логические операции;