

7516832094
5168342097
3209475168
0946832751
5716832094
9468320751
2094837516
5168342097

В.Т.Сергованцев
В.В.Бледных

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА В ИНЖЕНЕРНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ РАСЧЕТАХ

9468320751
0946875133

В.Т.Сергованцев
В.В.Бледных

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА В ИНЖЕНЕРНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ РАСЧЕТАХ

Издание 2-е, переработанное
и дополненное

Под редакцией В. Т. СЕРГОВАНЦЕВА

Допущено Главным управлением высшего и среднего
сельскохозяйственного образования
Министерства сельского хозяйства СССР
в качестве учебного пособия для студентов
высших сельскохозяйственных учебных заведений
по инженерным специальностям

Москва
«Финансы и статистика» 1983

**Владимир Трофимович Сергованцев,
Василий Васильевич Бледных**

**ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА В ИНЖЕ-
НЕРНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ РАСЧЕТАХ**

Рецензент *К. М. Поярков*
Редактор *Р. И. Кушкина*
Мл. редактор *Т. М. Кудинова*
Техн. редакторы *К. К. Букалова, Г. А. Полякова*
Корректоры *Г. А. Башарина, О. Г. Шумская,
Е. Д. Кузнецова*
Худ. редактор *О. Н. Поленова*
Переплет художника *Ю. И. Артюхова*
ИБ № 1244

Сдано в набор 10.09.82. Подписано в печать 28.12.82. А04598
Формат 60×90¹/₁₆. Бум. тип. № 2. Гарнитура «Литературная». Печать офсетная.
П. л. 13,0. Усл. п. л. 13,0. Усл. кр.-отт. 13,25. Уч. изд. л. 13,31. Тираж 10 000 экз.
Заказ 1165. Цена 60 коп.
Издательство «Финансы и статистика», Москва, ул. Чернышевского, 7
Московская типография № 4 Союзполиграфпрома
при Государственном комитете СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
129041 г. Москва, Б. Переяславская, 46

Сергованцев В. Т., Бледных В. В.

С 32

**Вычислительная техника в инженерных и экономиче-
ских расчетах: Учеб. пособие / Под ред. В. Т. Сергованце-
ва. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Финансы и статистика,
1983. 208 с., ил.**

В пер.: 60 коп.

В книге изложены основы подготовки и решения задач на ЭВМ. Даны об-
щие принципы построения ЦВМ и выполнения ими вычислительных операций,
алгоритмы типовых задач, изложены основы программирования на алгоритми-
ческих языках АП ЭВМ «Наири» и Фортране. Рассмотрены математические ме-
тоды решения инженерных и экономических задач сельскохозяйственного произ-
водства.

Пособие предназначено для студентов инженерных факультетов сельскохо-
зяйственных вузов.

С $\frac{0604020101-021}{010(01)-83}$ 126—83

ББК 32.973.2
6Ф7.3

ВВЕДЕНИЕ

Вычислительная техника, как и в целом техника, есть средство труда в системе общественного производства. Известно, что основная задача внедрения технических средств — это облегчение труда человека, повышение его производительности и высвобождение от рутинных (нетворческих) или механических операций в процессе общественного производства.

Условно можно различить две сферы применения труда: технологию производства, где труд образует производственно-технологические операции и процессы; управление (технологию управления производством), где труд организует операции и процессы управления производством. Эти сферы делят всю технику на два больших класса: средства механизации производственно-технологических процессов, которые komponуются в машины и комплекс машин; средства автоматизации, на базе которых создаются устройства и системы автоматизации управления для отдельных операций, машин, системы машин, технологических линий, цехов, производства в целом и, наконец, различных функций органов государственного управления.

Классы технических средств различаются объектами воздействия и областью применения (табл. В.1): средства механизации воздействуют на материальные и энергетические потоки, образуя производственно-технологические процессы; средства автоматизации создают информационные потоки, формируя процессы управления. Средства автоматизации управления, непосредственно связанные с технологией производства, образуют автоматические системы и совместно со средствами механизации составляют системы комплексной механизации и автоматизации производственно-технологических процессов. Средства автоматизации, применяемые в сфере управления и обслуживающие управленческий персонал, образуют автоматизированные системы управления.

Исследования и расчеты показывают, что темпы роста производительности труда в сфере управления в десятки раз ниже, чем в сфере технологии производства. Низкий уровень производительности труда работников сферы управления является основной причиной значительного и непрерывного роста потребности в таких работниках, а также одной из причин неоптимальности и необоснованности в ряде случаев принимаемых управленческих решений. Отсюда следует особая важность развития и внедрения в производство технических средств автоматизации.

Класс технических средств	Область применения	Объект воздействия	Функции средств
Средства механизации	Производственно-технологические операции и процессы	Материалы, энергия и их потоки	Получение (восприятие), сбор, передача, обработка, хранение, распределение, использование
Средства автоматизации (управления)	Операции и процессы управления	Информация и ее потоки	

В комплексе технических средств, образующих системы автоматизации управления, информационные потоки последовательно проходят этапы преобразования (рис. В.1).

Поток начинается с восприятия или ввода информации (с помощью датчиков или устройств ввода). Затем информация проходит этап сбора и передачи на расстояние, если места ее появления рассредоточены и отделены от пункта обработки. Основным функциональным этапом является обработка информации. Полученная информация после ее обработки может храниться в соответствующих устройствах памяти или

передаваться для использования человеку (через устройства представления и вывода информации) или на управляемый объект технологического процесса (через исполнительные устройства).

В системах управления современным производством информация обрабатывается и хранится лишь на базе использования вычислительной техники. В настоящее время идет бурный процесс замены обычных средств технологической автоматизации на устройства,

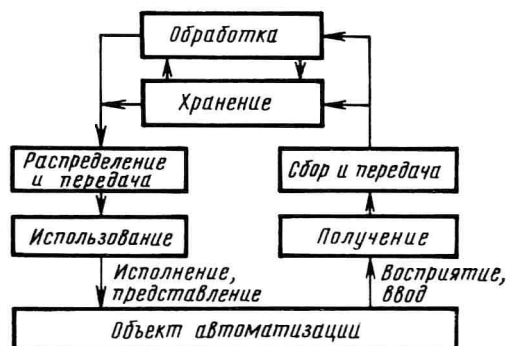


Рис. В.1. Схема движения информационных потоков в технических средствах автоматизации

созданные на базе вычислительной техники в интегральном исполнении. Следовательно, вычислительная техника занимает центральное звено в системах автоматизации современного производства. Кроме того, она автоматизирует вычислительные работы и вне систем управления, высвобождая человека и расширяя его возможности по производству вычислений. Можно назвать три основных направления использования вычислительной техники: 1) автоматизация управления производством; 2) автоматизация информационных работ; 3) выполнение вычислительных работ. В первом направлении ЭВМ выполняют

вычислительные и логические работы, во втором — преимущественно логические, а в третьем — вычислительные.

Вычислительная техника составляет основу современного научно-технического прогресса. Нет сферы деятельности человека, где бы она ни применялась. Полеты в космос, управление авиацией, работа энергетических систем, оборона страны, государственная статистика и плановые расчеты, прогнозирование, научно-исследовательские работы — далеко не полный перечень областей деятельности человека, уже невозможных без использования вычислительной техники.

Колоссальное значение вычислительная техника имеет в управлении процессами и объектами в промышленности, на транспорте, в государственных учреждениях. Здесь на основе вычислительной техники строятся автоматизированные системы управления (АСУ). По значимости вычислительную технику можно сравнить с трактором. Как трактор в свое время совершил революцию в сельскохозяйственном производстве, так и вычислительная техника в форме АСУ открывает необозримые просторы для совершения революции в управлении производством и обработке информации.

Вычислительная техника широко применяется для решения производственно-экономических задач. Необходимость учета значительного множества различных факторов, оперирование с колоссальными объемами информации делают невозможным решение таких задач без использования электронных вычислительных машин (ЭВМ).

ЭВМ применяются и в сельском хозяйстве. С их помощью ведутся экономические расчеты задач прогнозирования, планирования, регулирования, учета, отчетности, анализа сельскохозяйственного производства. На ЭВМ решаются десятки крупных задач, например, перспективного и текущего планирования, размещения и специализации сельскохозяйственного производства, распределения минеральных удобрений, размещения государственных закупок сельскохозяйственной продукции; оптимизации состава и использования машинно-тракторного парка, планирования грузоперевозок, размещения ремонтной базы и запасных частей сельскохозяйственной техники; оптимизации структуры посевных площадей в хозяйствах; оптимизации структуры и оборота стада крупного рогатого скота; племенного учета животных; оптимизации состава кормовых рационов для животных и птиц; обработки результатов испытаний сельскохозяйственной техники и многие другие задачи. На ЭВМ выполняется множество инженерных и экономических расчетов, связанных с сельскохозяйственным производством.

Вычислительная техника становится основой для построения средств автоматизации технологических процессов. Микропроцессоры и мини-ЭВМ составляют перспективную элементную базу для современных средств автоматики с программным управлением, роботов, АСУ технологическими процессами.

ЭВМ теперь — незаменимый инструмент в руках инженера. В период «логарифмической линейки» решение инженерных задач сводилось к максимальному упрощению расчетов и задачи имели лишь приближенный результат. В настоящее время в эпоху ЭВМ искусство ин-

женера состоит в том, чтобы математически наиболее полно описать задачу и сформулировать порядок ее решения на ЭВМ. Само решение выполняется на ЭВМ быстро и с задаваемой точностью.

Государственные и партийные органы придают большое значение развитию и внедрению вычислительной техники в народное хозяйство. В «Основных направлениях экономического и социального развития

СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года» поставлена задача совершенствования вычислительной техники, ее элементной базы и математического обеспечения, средств и систем сбора, передачи и обработки информации, развития производства и обеспечения широкого применения автоматических манипуляторов (промышленных роботов), встроенных систем автоматического управления с использованием микропроцессоров и микро-ЭВМ, создания автоматизированных цехов и заводов. Основные направления указывают: «Расширять автоматиза-



Рис. В.2. Классификация средств вычислительной техники

цию проектно-конструкторских и научно-исследовательских работ с применением электронной вычислительной техники»¹.

Назначение вычислительной техники. Итак, что же такое вычислительная техника? Под вычислительной техникой принято понимать технические средства, предназначенные для ускорения и автоматизации процессов решения математических и логических задач, а основное назначение вычислительной техники — это ускорение и автоматизация вычислительных и информационных работ.

Классификация средств вычислительной техники. Основную часть средств вычислительной техники составляют вычислительные машины. Кроме машин, к вычислительной технике относят математические приборы и инструменты: различного вида номограммы, мерные устройства, планиметры, конторские счеты, логарифмические линейки и др. (рис. В.2). Вычислительные машины (ВМ) — это комплекс технических устройств вычислительной техники с общим (единым) управлением.

Основными представителями современных ВМ являются электронные вычислительные машины. ЭВМ построены на электронных элемен-

¹ Материалы XXVI съезда КПСС. М., Политиздат, 1980, с. 144.

тах и приборах, отличаются большими вычислительными возможностями, быстродействием, надежностью и большими объемами памяти.

Кроме ЭВМ на практике широко используются перфорационные вычислительные машины. ПВМ — это комплекс электромеханических машин напольной конструкции, предназначенных для обработки экономической информации. ПВМ оперируют с информацией, которая вводится и хранится на перфокартах.

ЭВМ подразделяются на аналоговые (АВМ) и цифровые (ЦВМ) машины.

АВМ выполняют вычислительные операции над непрерывно изменяющимися значениями физических величин. Например, электрического напряжения — $U_x(t)$, которые являются аналогом значений действительных переменных: $x(t) \equiv U_x(t)$, т. е. работают по принципу электрического моделирования физических процессов $y(t) = f[x(t)]$ на электронной модели $U_y(t) = f[U_x(t)]$. Условие моделирования — идентичность дифференциальных уравнений исследуемого процесса и его электрической модели, собранной на АВМ. Для определения функции $y = f(x)$ в АВМ составляется электрическая схема, в которой воспроизводится идентичный электрический процесс $U_y = f(U_x)$: $y = f(x) \rightarrow \text{Эл. схема} \rightarrow U_y = f(U_x)$. Задачи на АВМ решаются параллельно по всем математическим операциям. Исходные данные, условия и зависимости устанавливаются в виде электрических соединений и величин элементов при наборе схемы.

Отдельную группу АВМ составляют сеточные модели для реализации дифференциальных уравнений в частных производных.

ЦВМ выполняют математические операции под дискретными численными значениями переменных. В основе построения и работы этих машин лежат следующие принципы:

1. Представление информации (текущих дискретных значений переменных и констант) в виде кодов, т. е. чисел в двоичной системе счисления. Код в двоичной системе в свою очередь реализуется комбинациями электрических импульсов тока, напряжения, отсутствием или наличием проводимости цепи, положительным или отрицательным направлением магнитных потоков в материале, т. е.

Переменные и константы $\rightarrow$ код в двоичной системе счисления $\rightarrow$ Комбинация импульсов

2. Сведение всех математических действий к совокупности арифметических операций (рис. В.3). При этом используются численные методы вычислительной математики. Все четыре арифметические операции в ЦВМ выполняются в свою очередь на базе одной арифметической операции — сложения. А операция сложения в двоичной сис-

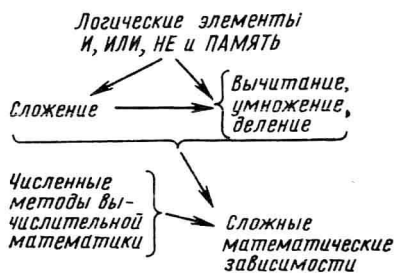


Рис. В.3. Принцип выполнения математических операций в ЦВМ

теме счисления сводится к совокупности логических операций и осуществляется электрической схемой, построенной на базе логических элементов «И», «ИЛИ», «НЕ».

3. Последовательное выполнение в машине всех арифметических и других операций. Эта последовательность задается машине в виде программы, которая составляется на этапе подготовки задачи для решения на ЦВМ. Преимуществом ЦВМ является их универсальность, большая точность и высокое быстродействие в выполнении операций, доходящее до миллионов в секунду. Основным недостатком ЦВМ — трудоемкость и длительность процесса подготовки (программирования) задач для решения на машине. ЦВМ различают по назначению, мощности и другим параметрам:

1. Универсальность машины для решения широкого класса задач. Это машины, как правило, большой и средней мощности. Из этих машин komponуются вычислительные системы с развитыми периферийными средствами ввода и вывода информации для одновременного обслуживания многих потребителей. Представителем этой группы машин является Единая система электронных вычислительных машин (ЕС ЭВМ).

2. Малые ЭВМ отличаются меньшими вычислительными возможностями, объемом памяти, габаритами. В эту группу машин входят инженерные ЭВМ типа «Наири», управляющие ЭВМ, например, типа СМ-4.

3. Микро-ЭВМ и микропроцессоры предназначены для автоматизации технологических процессов путем встраивания их в технологические машины и устройства.

4. Электронные клавишные вычислительные машины (ЭКВМ), микрокалькуляторы служат для выполнения простых планово-экономических, учетно-статистических, научно-технических, бухгалтерских, и инженерных задач.

Предлагаемое читателю учебное пособие предназначено для студентов инженерных факультетов сельскохозяйственных вузов. Чтобы освоить курс, достаточны знания по математике и физике в объеме средней школы. Однако для изучения некоторых разделов читателю желательно быть знакомым с интегральным и дифференциальным исчислением, с основами теории вероятностей и линейной алгебры.

Согласно программе цель книги — дать студенту основы использования ЭВМ для решения задач. Студент должен приобрести знания по подготовке и решению задач на цифровых (в том числе и клавишных) машинах; изучить основные математические методы постановки инженерных, производственно-технических и экономических задач сельскохозяйственного производства; усвоить приемы составления алгоритмов и программ на алгоритмических языках.

Для облегчения освоения основного вопроса курса — научить студента пользоваться ЭВМ — в главе 1 предлагается ознакомиться с общими принципами построения цифровых вычислительных машин. Причем здесь не преследуется цель дать все многообразие построения и работы ЦВМ. Ставится лишь задача познакомить студента с тем, как в ЭВМ выполняются сложные математические и логические опе-

рации и из каких основных устройств состоят вычислительные машины.

Практическое изучение вычислительной техники рекомендуется начать с клавишных машин (глава 2). При этом обращается внимание на приемы работы с регистрами памяти машины. Для расчетов на ЭКВМ «Искра-124» по программам рекомендуется предварительно познакомиться с материалом главы 3.

Центральную часть книги составляют основы подготовки задач для решения на ЦВМ (главы 3, 4 и 5). Вначале излагается последовательность подготовки и алгоритмизации задач (глава 3). Затем рассматриваются основы программирования на машинно-ориентированном языке АП ЭВМ «Наири», как наиболее распространенном в инженерных институтах (глава 4). Этот язык дан как введение к основному языку курса — проблемно-ориентированному алгоритмическому языку — Фортрану (глава 5). При этом материал по Фортрану скомпонован в три раздела: основной язык (§ 5.1—5.4); более сложные конструкции языка (§ 5.5) для студентов факультетов, где язык Фортран изучается более глубоко; практическое выполнение программ на машинах ЕС ЭВМ (§ 5.6). Такое деление позволяет более гибко выбирать и излагать материал применительно к отпущенному для дисциплины объему часов.

В книге в качестве примеров приведены некоторые численные методы, их алгоритмы и программы для решения инженерных задач (глава 6).

Завершается книга производственно-техническими задачами и методами их решения на ЭВМ. Поскольку метод линейного программирования — наиболее мощный и самый распространенный, он и задачи, решаемые этим методом, изложены более подробно (§ 7.2 и § 7.3). В этой главе уделено внимание тому, как те или другие задачи сельскохозяйственного производства сводятся к задачам, решаемым методом теории исследования операций.

Поскольку аналоговые вычислительные машины решают лишь специальные классы задач и для освоения их необходимы некоторые знания по электротехнике и электронике, то они изложены в главе 8. Эта глава дает лишь общее знакомство с АВМ, а также начальные сведения и примеры по постановке задач и их моделированию на АВМ.

Так как курс еще не приобрел стабильного места в учебных планах сельскохозяйственных вузов, для его изложения отводится разный объем часов и читается в разных семестрах, то, естественно, не все разделы книги будут использованы в читаемой дисциплине. Поэтому авторы сочли возможным излагать отдельные части книги как самостоятельные разделы, не зависящие от других (глава 2, главы 4, 5 и др.).

Главы 1—5, 8 и введение написаны В. Т. Сергованцевым, глава 6 — В. Т. Сергованцевым и В. В. Бледных, глава 7 — В. В. Бледных.

Авторы выражают глубокую благодарность кандидату технических наук доценту К. М. Пояркову за большой труд по тщательному рецензированию рукописи второго издания книги, а также ст. преподавателю А. Л. Пахомову за полезные советы по улучшению содержания книги.

Глава 1

ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН

1.1. АРИФМЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

1.1.1. Системы счисления

Цифровые машины оперируют с числами, выраженными в двоичной системе счисления. Под системой счисления понимают способ представления чисел посредством числовых знаков (цифр). Любая система счисления характеризуется основанием q — количеством цифр, используемых для записи чисел. Так, например, для позиционных систем счисления:

десятичной: $q = 10, K_i = 0, 1, 2, \dots, 9$;

двоичной: $q = 2, K_i = 0, 1$;

восьмеричной: $q = 8, K_i = 0, 1, 2, \dots, 7$;

шестнадцатеричной: $q = 16, K_i = 0, 1, 2, \dots, 9, A, B, \dots, F$,

где K_i — числовые знаки, используемые в системе.

В позиционной системе счисления значение цифры (т. е. ее вес) зависит от ее положения (позиции) в числе. Например, в числе 77,7 первая цифра означает, сколько десятков в числе, вторая — сколько единиц, а третья — сколько десятых долей единицы. Это число можно представить в виде степенного ряда: $77,7 = 7 \cdot 10^1 + 7 \cdot 10^0 + + 7 \cdot 10^{-1}$, где 10 — основание десятичной системы счисления.

В степенной ряд можно разложить число, записанное в любой позиционной системе счисления. По аналогии с разложением числа 77,7 можем записать формулу разложения в общем виде:

$$K_n K_{n-1} \dots K_0, K_{-1} \dots K_{-m} = K_n q^n + K_{n-1} q^{n-1} + \dots + K_1 q^1 + K_0 q^0 + K_{-1} q^{-1} + + \dots + K_{-m} q^{-m}, \quad (1.1)$$

где K_i — цифры числа, q — основание системы счисления.

Используем формулу (1.1) и разложим в степенной ряд три следующих числа, записанных соответственно в десятичной (индекс 10), двоичной (индекс 2) и шестнадцатеричной (индекс 16) системах счисления:

$$\begin{aligned} 9207,58_{10} &= 9 \cdot 1000_{10} + 2 \cdot 100_{10} + 0 \cdot 10_{10} + 7 \cdot 1 + 5 \cdot 0,1_{10} + 8 \cdot 0,01_{10} = \\ &= 9 \cdot 10^3 + 2 \cdot 10^2 + 0 \cdot 10^1 + 7 \cdot 10^0 + 5 \cdot 10^{-1} + 8 \cdot 10^{-2}; \end{aligned}$$

$$1011,01_2 = 1 \cdot 1000_2 + 0 \cdot 100_2 + 1 \cdot 10_2 + 1 \cdot 1 + 0 \cdot 0,1_2 + 1 \cdot 0,01_2 = \\ = 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 + 0 \cdot 2^{-1} + 0 \cdot 2^{-2} = 1 \cdot 8_{10} + 0 \cdot 4_{10} + 1 \cdot 2_{10} + \\ + 1 \cdot 1 + 0 \cdot 0,5_{10} + 1 \cdot 0,25_{10} = 8 + 2 + 1 + 0,25 = 11,25_{10};$$

$$20B9, F = 2 \cdot 1000_{16} + 0 \cdot 100_{16} + B \cdot 10_{16} + 9 \cdot 1 + F \cdot 0,1_{16} = 2 \cdot 16^3 + 0 \cdot 16^2 + \\ + 11 \cdot 16^1 + 9 \cdot 16^0 + 16 \cdot 16^{-1}.$$

Соответственно можно составить ряд весов разрядов для десятичной, двоичной, восьмеричной и шестнадцатеричной систем счисления:

$$\dots - 10 \ 000 - 1 \ 000 - 100 - 10 - 1 - 0,1 - 0,01 - 0,001 - \dots,$$

$$\dots - 4096 - 2048 - 1024 - 512 - 128 - 64 - 32 - 16 - 8 - 4 - 2 - 1 - 1/2 - 1/4 - \dots,$$

$$\dots - 4096 - 256 - 16 - 1 - 1/16 - 1/256 - \dots$$

1.1.2. Перевод чисел из одной системы счисления в другую

Для перевода целого числа из одной позиционной системы в другую его нужно последовательно делить на основание той системы счисления, в которую оно переводится. Деление ведется в той системе, из которой осуществляется перевод, и до тех пор, пока частное (остаток от деления) не будет меньше основания, на которое число делят. Число в новой системе счисления запишется в виде последнего частного и всех остатков деления, начиная с последнего. Последний остаток (частное) дает старший разряд (цифру) числа.

Перевод из десятичной в двоичную систему числа 86_{10} :

$$\begin{array}{r} 86 \overline{) 2} \\ \underline{86} \quad 43 \overline{) 2} \\ 0 \quad 42 \quad 21 \overline{) 2} \\ 1 \quad 20 \quad 10 \overline{) 2} \\ 1 \quad 10 \quad 5 \overline{) 2} \\ 0 \quad 4 \quad 2 \overline{) 2} \\ 1 \quad 2 \quad 1 \leftarrow \text{Старший разряд} \\ 0 \end{array}$$

Направление чтения

Итак: $86_{10} = 1010110_2$.

Перевод из десятичной в шестнадцатеричную систему числа 6703_{10} :

$$\begin{array}{r} 6703 \overline{) 16} \\ 64 \quad 418 \overline{) 16} \\ 30 \quad 32 \quad 26 \overline{) 16} \\ 16 \quad 98 \quad 16 \quad 1 \leftarrow \text{Старший разряд} \\ 143 \quad 96 \quad 10 \\ 128 \quad 2 \\ 15 \end{array}$$

Направление чтения

Так как $15 = F$, $10 = A$, то получаем: $6703_{10} = 1A2F_{16}$.

Для перевода правильной дроби (или дробной части числа) из одной позиционной системы счисления в другую ее надо последовательно умножать на основание той системы, в которую она переводится. Перемножаются только дробные части числа. Дробь в новой системе запишется в виде целых частей получаемых произведений, начиная с первого сомножителя. Переведем из десятичной в двоичную систему дробь $0,3125_{10}$:

$$\begin{array}{r}
 \times 0,3125 \\
 \hline
 \times 0 \quad 2 \\
 \times 0 \quad 6250 \\
 \hline
 \times 1 \quad 2 \\
 \times 1 \quad 2500 \\
 \hline
 \times 0 \quad 2 \\
 \times 0 \quad 5000 \\
 \hline
 \times 1 \quad 2 \\
 \times 1 \quad 0000
 \end{array}$$

Направление чтения

Итак, $0,3125_{10} = 0,0101_2$.

При переводе смешанных чисел отдельно переводят целую и дробную части. В табл. 1.1 представлен ряд чисел в различных системах счисления. В шапке таблицы указаны веса каждого разряда чисел.

Таблица 1.1

Запись чисел в системах счисления

Десятичная		Двоичная				Восьмеричная		Шестнадцатеричная		Двоично-десятичная							
										десятки				единицы			
10	1	8	4	2	1	8	1	16	1	8	4	2	1	8	4	2	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
0	2	0	0	1	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0
0	3	0	0	1	1	0	3	0	3	0	0	0	0	0	0	1	1
0	4	0	1	0	0	0	4	0	4	0	0	0	0	0	1	0	0
0	5	0	1	0	1	0	5	0	5	0	0	0	0	0	1	0	1
0	6	0	1	1	0	0	6	0	6	0	0	0	0	0	1	1	0
0	7	0	1	1	1	0	7	0	7	0	0	0	0	0	1	1	1
0	8	1	0	0	0	1	0	0	8	0	0	0	0	1	0	0	0
0	9	1	0	0	1	1	1	0	9	0	0	0	0	1	0	0	1
1	0	1	0	1	0	1	2	0	A	0	0	0	1	0	0	0	0
1	1	1	0	1	1	1	3	0	B	0	0	0	1	0	0	0	1
1	2	1	1	0	0	1	4	0	C	0	0	0	1	0	0	1	0
1	3	1	1	0	1	1	5	0	D	0	0	0	1	0	0	1	1
1	4	1	1	1	0	1	6	0	E	0	0	0	1	0	1	0	0
1	5	1	1	1	1	1	7	0	F	0	0	0	1	0	1	0	1
1	6	0	0	0	0	2	0	1	O	0	0	0	1	0	1	1	0

Двоично-десятичная система счисления служит для записи в ЦВМ пораздельно каждой цифры десятичного числа двоичным кодом. Каждый десятичный разряд (цифра) записывается независимо от его веса четырьмя двоичными разрядами.

Поскольку каждый разряд восьмеричной системы счисления представляется ровно тремя разрядами двоичной системы (см. табл. 1.1), то перевод из двоичной системы в восьмеричную и производится отдельно по три разряда соответственно, с разбиением от запятой в обе стороны, а из восьмеричной в двоичную — переводом каждого разряда раздельно. При использовании шестнадцатеричной системы перевод выполняется аналогично с той лишь разницей, что разбиение ведется не по три, а по четыре разряда. Например, число 1111110_2 , 10101_2 разбивается по три или четыре разряда, начиная от запятой, и крайние группы дополняются нулями до трех или четырех разрядов соответственно:

$$\begin{array}{ccccccc} \underbrace{001} & \underbrace{111} & \underbrace{110} & , & \underbrace{101} & \underbrace{010} & \\ 1 & 7 & 6 & & 5 & 2 & \text{— восьмеричной,} \\ \underbrace{0111} & \underbrace{1110} & , & \underbrace{1010} & \underbrace{1000} & \\ 7 & E & & A & 8 & \text{— в шестнадцатеричной.} \end{array}$$

Получаем: $1111110_2, 10101_2 = 176,52_8 = 7E, A8_{16}$.

1.1.3. Двоичная арифметика

Арифметика в двоичной системе чрезвычайно проста (табл. 1.2) и, следовательно, легко реализуется в вычислительных машинах.

Таблица 1.2

Таблица арифметических действий в двоичной системе счисления

Сложение	Вычитание	Умножение	Деление
$0+0=0$	$0-0=0$	$0 \cdot 0=0$	$0/0=?$
$0+1=1$	$1-0=1$	$0 \cdot 1=0$	$0/1=0$
$1+0=1$	$1-1=0$	$1 \cdot 0=0$	$1/0=\infty$
$1+1=10$	$10-1=1$	$1 \cdot 1=1$	$1/1=1$

Арифметические действия в двоичной системе счисления выполняются так же, как и в десятичной. Но если в десятичной системе перенос и заем осуществляются по 10 единиц, то в двоичной — только по две единицы, т. е. по величине, равной основанию системы счисления. Рассмотрим примеры.

$$\begin{array}{rcl} \text{Сложение} & & \text{Вычитание} \\ 11 \leftarrow \text{Перенос} & & 2 \quad 112 \leftarrow \text{Заем} \\ \begin{array}{r} 100110 \\ + 110110 \\ \hline 1011100 \end{array} & & \begin{array}{r} 1010001 \\ - 0101011 \\ \hline 100110 \end{array} \end{array}$$

$$\begin{array}{r}
 \text{Умножение} \\
 \begin{array}{r}
 1001 \\
 \times 1011 \\
 \hline
 1001 \\
 1001 \\
 0000 \\
 1001 \\
 \hline
 1100011
 \end{array}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{r}
 \text{Деление} \\
 \begin{array}{r}
 2 \\
 110010 \overline{) 1010} \\
 \underline{1010} \\
 0
 \end{array}
 \end{array}$$

Двоичная система счисления применяется в ЦВМ потому, что двоичную цифру можно хранить на электронных элементах с двумя устойчивыми состояниями, где одно состояние будет обозначать 0, а другое — 1.

1.1.4. Формы записи чисел в машинах

В ЦВМ используют естественную (с фиксированной запятой) и нормальную (с плавающей запятой) формы записи чисел.

В естественной форме число представляется в виде целой и отделенной от нее запятой дробной части числа. Для каждой части отводится строго определенное количество разрядов.

При нормальной форме число представляется в виде:

$$N = mq^p, \quad (1.2)$$

где $1 > m \geq 0,1$ — мантисса числа (дробное число);

p — порядок числа (целое число);

q — основание системы счисления.

Порядок p определяет положение запятой в числе и показывает, на сколько разрядов влево (в случае отрицательного порядка) или вправо (в случае положительного порядка) нужно сдвинуть запятую в мантиссе, чтобы получить число в естественной форме.

В нормальной форме запись содержит знак порядка числа, порядок (без нуля целых и запятой), знак и величину мантиссы. Причем знак «плюс» изображается нулем, а «минус» — единицей.

Преимуществом нормальной формы является более широкий диапазон представления чисел. Однако нормальная форма требует дополнительных разрядов для хранения порядка числа и усложняет арифметические действия над числами с плавающей запятой. Это приводит к увеличению времени для их выполнения и усложнению аппаратуры.

1.1.5. Выполнение арифметических операций методом сложения

Операция вычитания в ЦВМ осуществляется с помощью специальных кодов. Один из таких кодов — обратный код. Обратный код $\bar{N}$ числа N есть разность, получаемая от вычитания основного числа N из некоторой константы C :

$$\bar{N} = C - N, \quad (1.3)$$

где $C = q - q^m$, m — разрядность мантиссы числа, представленного в нормальной форме.

Для двоичной системы счисления ($q = 2$, $m = 5$) получим $C = 2 - 2^{-5} = 10,00000_2 - 0,00001_2 = 1,11111_2$. Например, $N = 0,01001$, $\bar{N} = 1,11111 - 0,01001 = 1,10110$.

С использованием обратных кодов разность получают сложением уменьшаемого с обратным кодом вычитаемого, т. е. операция $x_1 - x_2 = y$ заменяется операцией

$$x_1 + \bar{x}_2 = y \text{ (или } \bar{y}), \quad (1.4)$$

где x_1 — уменьшаемое;

x_2 — вычитаемое;

$\bar{y}$ — разность;

$\bar{x}_2$, $\bar{y}$ — обратные коды вычитаемого и разности.

Рассмотрим примеры вычитания в двоичной системе счисления.

В двоичной системе: $q = 2$, $m = 5$, если $x_1 > x_2$.

$$\begin{array}{r} x_1 = 0,11011 \\ - x_2 = 0,01001 \\ \hline y = 0,10010 \end{array} \qquad \begin{array}{r} C = 1,11111 \\ - x_2 = 0,01001 \\ \hline \bar{x}_2 = 1,10110 \end{array}$$

Как видим, обратный код в двоичной системе счисления отличается от самого числа x_2 заменой единиц на нули и нулей на единицы. В электронных устройствах памяти с двумя устойчивыми состояниями (триггерах) имеются два противоположных по знаку выхода; если на основном выходе единица, то на втором (инверсном) — нуль, и наоборот. В таких устройствах число снимается с первого (основного) выхода, а его обратный код — с инверсного. Поэтому операцию по (1.3) в машине производить не требуется. Получив обратный код $\bar{x}_2$, выполним операцию вычитания:

$$\begin{array}{r} + x_1 = 0,11011 \\ + \bar{x}_2 = 1,10110 \\ \hline y' = 10,10001 \\ \quad \quad \quad \downarrow \rightarrow 1 \\ \hline y = 0,10010 \end{array}$$

Здесь в полученном промежуточном результате y' целая часть представлена двумя разрядами; единица располагается уже во втором разряде целой части числа y' . Эта единица, вышедшая за первый разряд целой части числа, в электронных устройствах ЦВМ автоматически переходит в младший разряд мантиссы и складывается с ней. В результате получаем искомую разность y .

Теперь рассмотрим случай, когда $x_1 < x_2$.

$$\begin{array}{r} - x_2 = 0,11011 \\ - x_1 = 0,10001 \\ \hline y = -0,01010 \end{array} \qquad \begin{array}{r} + x_1 = 0,10001 \\ + \bar{x}_2 = 1,00100 \\ \hline \bar{y} = 1,10101 \\ y = -0,01010 \end{array}$$

Здесь получена разность с единицей в целой части. В машине это автоматически фиксируется как обратный код числа. Само число снимается уже с других (инверсных) выходов триггеров.

Операция умножения в ЦВМ выполняется многократным сложением. В двоичной системе счисления умножение выполняется сочетанием двух операций — сложения и сдвига числа.

Операция деления в ЦВМ выполняется умножением на число, обратное делителю, или многократным вычитанием делителя из делимого.

1.2. ЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

Все электронные элементы, используемые для построения основных устройств ЦВМ, можно разделить на три группы: логические, запоминающие, а также формирующие и усиливающие импульсы. Последняя группа элементов служит для усиления и восстановления формы электрических импульсов после их логического преобразования и хранения в запоминающих устройствах.

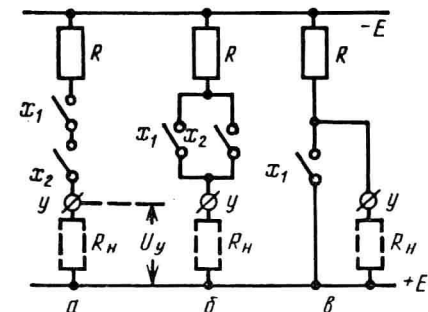


Рис. 1.1. Примеры реализации логических функций на электрических схемах с ключами:

а — конъюнкция (логическое умножение);
б — дизъюнкция (логическое сложение);
в — отрицание (инверсия); x_1, x_2 — ключи;
 R_n — резистор нагрузки (выхода); U_y —
напряжение на выходе схемы

Под логическими элементами ЦВМ понимают технические устройства, предназначенные для реализации элементарных логических функций логических переменных, которые могут принимать только два значения: ноль «0» («ложь») и единицу «1» («истина»). Основными логическими элементами ЦВМ являются схемы совпадения (элемент «И»), собирательные схемы (элемент «ИЛИ») и инверторы (элемент «НЕ»).

Логический элемент «И» (схема совпадения) есть многополюсник с n входами ($n = 2, 3, \dots$) и одним выходом (табл. 1.3, п. 1). Элемент реализует логическую функцию — конъюнкцию, определяемую по

правилам логического умножения (табл. 1.4): функция y обращается в единицу только в случае, когда все аргументы ($x_1, x_2, \dots, x_n$) равны единице, в ноль — во всех остальных случаях (т. е. когда хотя бы один аргумент равен нулю). Обозначается конъюнкция (логическое умножение) знаком « $\wedge$ » (« $\cdot$ »). Примером элемента «И» может служить последовательное соединение ключей в электрической цепи (рис. 1.1, а). Только в случае замыкания и ключа x_1 (состояние единицы), и ключа x_2 (состояние единицы) цепь будет замкнута, и на выходе (на резисторе нагрузки R_n) будет напряжение U_y (т. е. единица). Во всех остальных случаях цепь будет разомкнута, и на R_n напряжение будет отсутствовать.