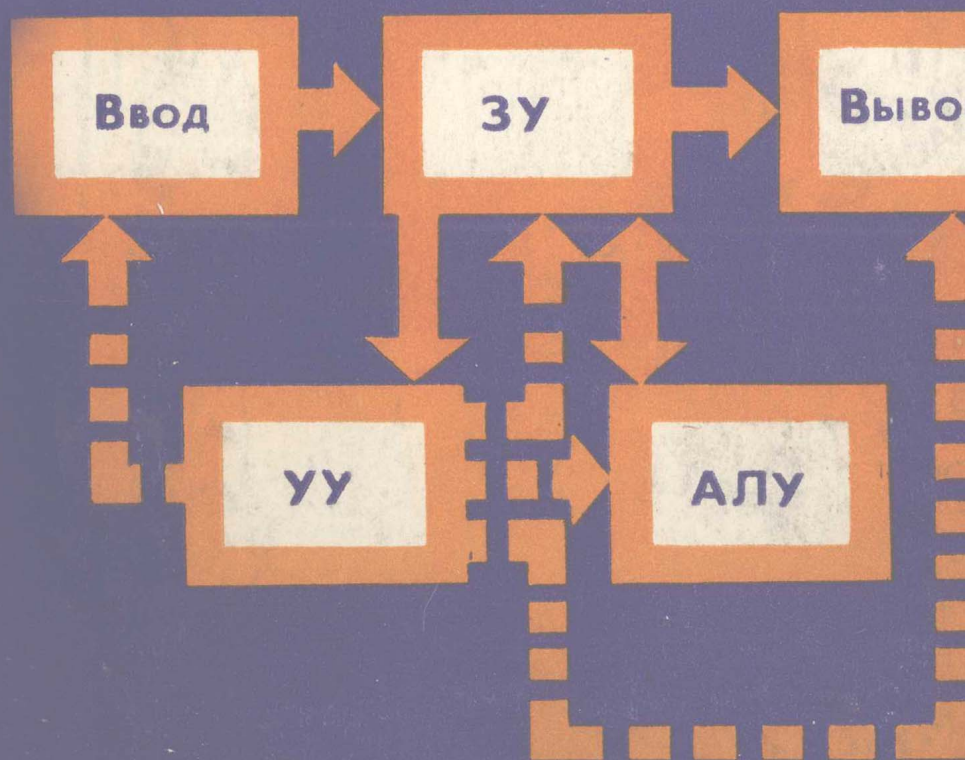


В. Н. ПУТКОВ
И. И. ОБРОСОВ
С. В. БЕКЕТОВ

ЭЛЕКТРОННЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА



Виктор Никитович Путков
Иван Иванович Обросов
Степан Владимирович Бекетов

ЭЛЕКТРОННЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Редактор Е. В. Сукач
Мл. редактор Р. А. Масловская
Худож. редактор Ю. С. Сергачёв
Техн. редактор И. П. Тихонова
Корректор Л. А. Еркивич

ИБ № 1043

Сдано в набор 02.04.81. Подписано в печать 17.11.81. АТ 20655.
Формат 60×90^{1/16}. Бумага тип. № 2. Литературная гарнитура.
Высокая печать. Усл. печ. л. 21. Усл. кр. отт. 21,25. Уч.-изд. л.
22,03. Тираж 5500 экз. Зак. 1502. Цена 90 коп.

Издательство «Высшая школа» Государственного комитета
БССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
220048, Минск, проспект Машерова, 11.

Минское производственное полиграфическое объединение
им. Я. Коласа. 220005, Минск, Красная, 23.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ВВЕДЕНИЕ	5
В.1. Основные понятия об электронных вычислительных устройствах . .	5
В.2. Краткая историческая справка	7
В.3. Общая структурная схема ЭВМ	11
В.4. Место ЭВМ в радиоэлектронных системах обработки информации .	13
1. АРИФМЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭВМ	15
1.1. Позиционные системы счисления	15
1.2. Перевод чисел из одной системы счисления в другую	18
1.3. Представление чисел в ЭВМ	25
1.4. Кодирование и сложение положительных и отрицательных чисел . .	28
1.5. Умножение чисел с фиксированной запятой	36
1.6. Деление чисел с фиксированной запятой	39
1.7. Выполнение операций над числами с плавающей запятой	44
2. ЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭВМ	47
2.1. Двоичные переменные и переключательные функции	47
2.2. Основные логические функции	47
2.3. Основные законы алгебры логики	51
2.4. Формы представления ПФ. Функционально полные системы логических функций	53
2.5. Минимизация ПФ	57
2.6. Понятие о конечном автомате	66
2.7. Типы автоматов и способы задания их функционирования... . . .	68
2.8. Минимизация абстрактных автоматов	72
3. ЛОГИЧЕСКИЕ И ЗАПОМИНАЮЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ ЭВМ	76
3.1. Представление информации в ЭВМ двоичными сигналами	76
3.2. Логические элементы ЭВМ	77
3.3. Триггеры	84
4. ОСНОВЫ СИНТЕЗА ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ	95
4.1. Структурный синтез автоматов	95
4.2. Функционирование автоматов во времени	101
4.3. Примеры структурного синтеза автоматов	103
5. ОПЕРАЦИОННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ЭВМ	107
5.1. Типы операционных элементов	107

5.2. Регистры	107
5.3. Счетчики	115
5.4. Дешифраторы и шифраторы	119
5.5. Сумматоры	126
5.6. Сдвигатели, мультиплексоры и демультиплексоры	133
6. АРИФМЕТИКО-ЛОГИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА ЭВМ	137
6.1. Общие сведения об АЛУ	137
6.2. Структура АЛУ для выполнения операций над числами с фиксированной запятой	140
6.3. Выполнение в АЛУ операций сложения и вычитания чисел с фиксированной запятой	146
6.4. Выполнение в АЛУ умножения чисел с фиксированной запятой	149
6.5. Выполнение в АЛУ деления чисел с фиксированной запятой	155
6.6. Выполнение в АЛУ логических операций, сдвигов и операций над числами с плавающей запятой	159
7. ЗАПОМИНАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА ЭВМ	162
7.1. Типы ЗУ и их основные характеристики	162
7.2. ОЗУ на ферритовых сердечниках	163
7.3. ЗУ на интегральных схемах	175
7.4. Постоянные ЗУ	177
7.5. ЗУ с магнитной записью	181
8. УСТРОЙСТВА ВВОДА И ВЫВОДА ИНФОРМАЦИИ	188
8.1. Общие сведения	188
8.2. Машинные носители информации	188
8.3. Подготовка и ввод информации в ЭВМ	193
8.4. Устройства вывода информации на печать	199
8.5. Дисплеи	203
9. УСТРОЙСТВА УПРАВЛЕНИЯ ЭВМ	206
9.1. Принципы программного управления	206
9.2. Общие сведения об управлении работой ЭВМ	210
9.3. Синтез микропрограммных автоматов Мили по граф-схеме алгоритма	212
9.4. Микропрограммные устройства управления	221
10. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ И СТРУКТУРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ОДНОПРОГРАММНЫХ ЭВМ	230
10.1. Понятие организации ЭВМ	230
10.2. Структура ЭВМ с одноадресной системой команд	231
10.3. Адресация оперативной и сверхоперативной памяти	241
10.4. Программно-управляемый ввод-вывод. Метод прямого доступа к ОП	247
11. ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ЭВМ	255
11.1. Общие сведения	255
11.2. Основные характеристики преобразователей	258

11.3. Типы АЦП	263
11.4. Типы цап	271
12. ОРГАНИЗАЦИЯ СОВРЕМЕННЫХ ЭВМ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ	277
12.1. Общие сведения о структурной и функциональной организации ЭВМ третьего поколения	277
12.2. Управление устройствами ввода-вывода	282
12.3. Организация мультипрограммной работы ЭВМ	292
12.4. Система прерывания программ и защиты памяти	299
12.5. Система контроля ЭВМ	304
13. СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ЭВМ	308
13.1. Принципы построения вычислительных систем	308
13.2. Модели ЕС ЭВМ и перспективы их развития	315
13.3. Мини- и микро-ЭВМ	319
ЛИТЕРАТУРА	329

В. Н. ПУТКОВ,
И. И. ОБРОСОВ,
С. В. БЕКЕТОВ

ЭЛЕКТРОННЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Допущено Министерством высшего и среднего
специального образования СССР в качестве учеб-
ного пособия для студентов радиотехнических
специальностей вузов

ББК 32.973 я73
П90
УДК 681.32(075.8)

Рецензенты: кафедра ЭВМ Московского инженерно-физического института; *Ю. М. Шамаев*, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой вычислительной техники Московского энергетического института

П $\frac{30502-203}{М304(05)-81}$ 63—81 2405000000

© Издательство «Высшая школа», 1981.

Современный научно-технический прогресс характеризуется высоким уровнем развития и широким внедрением во все отрасли народного хозяйства систем и средств обработки информации на базе электронных вычислительных машин (ЭВМ). Вычислительная техника относится к тем важнейшим отраслям народного хозяйства, которые играют значительную роль в научно-техническом прогрессе нашей страны, способствуя повышению эффективности общественного производства, улучшению качества продукции, росту производительности труда.

Выпуск средств вычислительной техники в СССР характеризуется высокой динамикой развития. В настоящее время ЭВМ широко применяются в самых различных областях науки и техники. Модульная конструкция современных ЭВМ, широкая номенклатура модулей обработки информации, оперативной памяти, внешних запоминающих устройств, устройств ввода-вывода, модулей связи с объектами контроля и управления позволяют компоновать из них различные информационные, управляющие и вычислительные комплексы и системы.

В научно-исследовательских учреждениях и на предприятиях ЭВМ используются для решения теоретических проблем, научно-технических задач, управления технологическими процессами, предприятиями, автоматизированного проектирования изделий, контроля качества и других параметров промышленной продукции (электронных схем, приборов) и т. д. Широко используются ЭВМ также в различного рода системах обработки информации с использованием радиотехнических средств. В связи с этим современный инженер должен уметь эффективно и использовать в сфере своей деятельности средства вычислительной техники.

Настоящая книга является учебным пособием для студентов радиотехнических специальностей вузов, изучающих основы построения и функционирования ЭВМ. Цель пособия — дать студентам основную информацию об ЭВМ, арифметических и логических основах их построения, элементах, основах синтеза цифровых схем, устройствах ЭВМ, функциональной и структурной организации вычислительных машин. При написании учебного пособия авторы использовали опыт преподавания на кафедре ЭВМ Минского радиотехнического института. Материал пособия подобран и представлен таким образом, что может быть использован при различном количестве часов, отводимых учебными планами на изучение основ ЭВМ для различных специальностей. Авторы считают книгу полезной также для начального ознакомления с

организацией и функционированием ЭВМ студентов специальностей «Электронные вычислительные машины» и «Автоматизированные системы управления».

Введение, § 2.6—2.8, гл. 3—10, 12, 13 написаны В. Н. Путковым, гл. 1, § 2.1—2.5 — И. И. Обросовым, гл. 11 — С. В. Бекетовым.

Авторы глубоко признательны рецензентам книги — заведующему кафедрой ЭВМ Московского инженерно-физического института, доктору технических наук, профессору Г. Н. Соловьеву, коллективу возглавляемой им кафедры, заведующему кафедрой вычислительной техники Московского энергетического института, доктору технических наук, профессору Ю. М. Шамаеву и кандидату технических наук, доценту той же кафедры Р. А. Попо, чьи замечания способствовали улучшению содержания книги и методики изложения материала.

Все пожелания и замечания, которые авторы примут с благодарностью, просим направлять по адресу: 220048, Минск, проспект Машерова, 11, издательство «Вышэйшая школа».

Авторы

ВВЕДЕНИЕ

В.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ОБ ЭЛЕКТРОННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВАХ

Среди разнообразных электронных вычислительных устройств выделяются два больших класса вычислительных машин — *аналоговые* (АВМ) и *цифровые* (ЦВМ).

В АВМ все числа (входные, промежуточные и выходные данные) представлены в виде физических процессов, характеризующихся своей величиной; количественные характеристики процессов соответствуют изображаемому ими числам. Числа в АВМ могут быть представлены, например, в виде механических перемещений, электрических напряжений и т. д.

В ЦВМ все числа изображаются в виде совокупности цифр в позиционной системе счисления. Наибольшее распространение получила двоичная система счисления, в которой каждая цифра числа может иметь значение нуля либо единицы. ЦВМ часто называют *электронными ЦВМ* (ЭЦВМ) или просто *ЭВМ*.

Поскольку АВМ являются предметом изучения в курсах, аналогичных курсу «Вычислительная техника в инженерных и экономических расчетах», в данном пособии рассматриваются ЭЦВМ.

Потребности общественного развития вызвали создание в 40—50-е гг. XX в. ЭВМ, называемых также *компьютерами* (от англ. compute — вычислять), и бурное развитие этого нового научно-технического направления в последующие годы. ЭВМ открыли новую страницу в истории человеческих знаний и возможностей.

Первоначально ЭВМ использовались только для проведения вычислительных работ. Эта область применения ЭВМ была связана с выполнением сложных расчетов, прежде всего при решении задач, определявших дальнейшее развитие науки в области ядерной физики, ракетной и космической техники, радиотехники и др. С помощью имевшихся к моменту появления ЭВМ средств проведения вычислительных работ (счетно-перфорационных машин, электромеханических и электронных аналоговых вычислительных устройств) было трудно и даже практически невозможно выполнять большое количество вычислений. Это приводило к необходимости идеализации явлений, подлежащих исследованию, для упрощения описывающих их уравнений. При этом не учитывались многие факторы, влияющие на процессы, в результате чего снижался научный уровень исследований. Применение ЭВМ резко ускорило и повысило качество научных исследований и расчетов, связанных с решением новейших научно-технических проблем.

Широкое внедрение ЭВМ во все сферы деятельности человека является результатом их способности быть важнейшим звеном в автомати-

зации информационных работ — сложной комплексной проблеме современного общественного развития. Для НТР характерен так называемый информационный взрыв — лавинообразное нарастание количества данных, требующих обработки для решения научных задач, а также задач совершенствования планирования и управления народным хозяйством. Информационный взрыв характеризуется также существенным возрастанием сложности обработки информации для получения высокой точности. Резкое возрастание потоков информации вызвало перегрузку ряда органов управления народным хозяйством и научно-исследовательских учреждений. Расширение сферы применения ЭВМ пошло в первую очередь по пути использования их для накопления, хранения, обновления, поиска, преобразования больших массивов информации и выдачи ее потребителям. Для этого в ЭВМ были усовершенствованы внешние запоминающие устройства (ВЗУ) на магнитных лентах и магнитных дисках, обладающие большой информационной емкостью, а также устройства сбора информации от различных внешних источников и избирательного распространения информации по запросам пользователей. ЭВМ научились обрабатывать не только числовую, но и алфавитно-цифровую информацию. Центр тяжести использования ЭВМ сместился в область экономики, планирования, управления производством и распределением при непрерывном возрастании роли ЭВМ в решении научно-технических задач.

Второй этап в использовании возможностей ЭВМ связан с созданием автоматизированных систем управления (АСУ) технологическими процессами (АСУТП), предприятиями (АСУП), отраслями (ОАСУ), транспортом, медицинским обслуживанием, автоматизированных систем проектирования радиоэлектронной аппаратуры (включая проектирование ЭВМ) и самих АСУ и т. д.

Важное значение в организации поточного производства переработки больших массивов информации в АСУ имеет организация быстрого обмена информацией между отдельными ЭВМ. Этого требует объединение отдельных АСУ в АСУ более высокого ранга — отраслевые, республиканские, общегосударственную. Для решения этой задачи ЭВМ связываются друг с другом каналами связи (воздушными, кабельными, радиорелейными, спутниковыми и др.). Появилась тенденция к концентрации вычислительных мощностей путем создания вычислительных центров коллективного пользования (ВЦКП), оснащенных высокопроизводительными ЭВМ, способными удовлетворить потребность в информационно-вычислительных работах многих (десятков, сотен, а в перспективе и более) предприятий, учреждений и организаций, являющихся абонентами этого центра и расположенных в пределах некоторого экономического района. При наличии быстрой и надежной системы передачи данных по каналам связи можно объединять локальные вычислительные центры предприятий и организаций, находящихся на значительном расстоянии друг от друга, а также ВЦКП в многомашинные вычислительные системы, которые названы *сетями ЭВМ*. Этап переработки информации в сетях ЭВМ связан с необходимостью передачи на большие расстояния значительных массивов информации.

История развития средств для выполнения вычислений начинается с древнейших приспособлений — счетных палочек и абака — прообраза обыкновенных канцелярских счетов. С помощью абака выполняли сложение и вычитание, а операции умножения и деления сводили к последовательности сложений и вычитаний соответственно. Канцелярские счета, форма которых неизменна вот уже свыше 250 лет, в течение длительного времени успешно конкурировали с более совершенными (соответственно более дорогими) механическими и даже электронными устройствами для выполнения арифметических операций над многоразрядными числами (калькуляторами).

В XVII в. были сделаны попытки создания простейших суммирующих машин (арифмометров) с использованием зубчатых колес. Первую работающую модель такой машины построил в 1642 г. знаменитый французский математик Блез Паскаль. В 1670 г. немецкий математик Готфрид Вильгельм Лейбниц дал первое описание своего «арифметического инструмента», к окончательному варианту которого он пришел в 1694 г. Счетная машина Лейбница могла выполнять и умножение. На основе идей Лейбница в 1820 г. был построен арифмометр Томаса — первая в мире счетная машина, которая изготовлялась серийно на промышленной основе (за первые 50 лет производства было продано около 1500 арифмометров).

Большой вклад в развитие вычислительной техники внесли выдающийся русский математик и механик академик П. Л. Чебышев, разработавший автоматический арифмометр, и академик А. Н. Крылов, построивший в 1904 г. первую в России машину для интегрирования дифференциальных уравнений.

Удачной оказалась конструкция арифмометра, созданного в 1874 г. русским инженером В. Т. Однером. В 1901—1904 гг. завод по производству арифмометров русской системы в Петербурге выпускал в среднем 3,5 тыс. арифмометров в год. Арифмометр Однера с небольшими конструктивными доработками дошел до наших дней.

Первую попытку создания автоматической вычислительной машины с программным управлением — прообраза современных компьютеров — предпринял англичанин Чарльз Бэббидж, разработавший в 1834 г. проект механической «аналитической машины». Его машина имела «склад» для хранения чисел (в современных ЭВМ — запоминающее устройство), «мельницу» для производства арифметических действий над числами (в ЭВМ — арифметическое устройство), устройство управления последовательностью операций, устройство ввода и вывода данных. Машина должна была выполнять: сложение и вычитание — за 1 с, умножение двух 50-разрядных десятичных чисел — за 1 мин, деление 100-разрядного числа на 50-разрядное — за 1 мин. Для управления машиной предполагалось использовать механизм, аналогичный механизму ткацкого станка Жаккара (сын лионского ткача Жаккар изобрел в 1801 г. механизм, позволявший автоматизировать движение петель с помощью набора перфокарт, причем заданный закон движения соответствовал пробивкам на перфокартах). Ввод информации в машину

Бэббиджа также предполагалось осуществлять с помощью жаккардовских перфокарт; предусматривался вывод результатов на печать или на перфокарты. Машина Бэббиджа не была построена из-за финансовых и технических трудностей.

Важной вехой в истории зарождения вычислительной техники было опубликование в 1854 г. английским математиком Джорджем Булем книги «Законы мышления», в которой он развил алгебру высказываний, названную впоследствии *булевой алгеброй*. На основе булевой алгебры в начале XX в. стала развиваться теория релейно-контактных схем и практика конструирования дискретных автоматов.

В 1884 г. Г. Холлерит (США) разработал машину для переписи населения. Система Холлерита включала перфокарту, клавишный перфоратор для пробивки отверстий, специальный перфоратор, который позволял перфорировать одновременно на нескольких картах повторяющуюся информацию (например, штат, округ и др.), сортировальную машину и табулятор. Сортировальная машина представляла собой несколько ящиков, в каждый из которых собирались перфокарты с определенными пробивками. Распределение потока перфокарт по ящикам происходило автоматически в зависимости от позиции пробитого отверстия в той или иной колонке перфокарты. Для этого перфокарты продвигались между набором штырей, насаженных на пружины, и резервуаром, наполненным ртутью. Как только штырь попадал в отверстие, он касался ртути и замыкал электрическую цепь. При этом приподнималась крышка на соответствующем ящике, в который и попадала карта. Выбор колонки и способ распределения перфокарт по ящикам сортировальной машины определялся программой, набираемой на коммутационной панели. Многократная сортировка по различным признакам осуществлялась путем изменения коммутации на панели. Табулятор работал аналогично сортировальной машине с той лишь разницей, что обнаружение признака пробивки на перфокарте вызывало увеличение показания счетчика этого признака на единицу. Результаты переписи населения США с помощью системы Холлерита в 1890 г. были более точны, и для их получения потребовалось почти в 3 раза меньше времени, чем при переписи 1880 г.

В последующие годы счетно-перфорационные машины непрерывно совершенствовались: возрастало быстродействие, увеличивалась надежность машин. Комплекты счетно-перфорационных машин в наше время стали снабжаться электронными процессорными устройствами для оперативного хранения обрабатываемых данных и программ, выполнения арифметических, логических и других операций с помощью электронных схем, ВЗУ на магнитных лентах и магнитных дисках, печатающими устройствами, устройствами контроля правильности перфорации, реперфораторами для дублирования перфокарт и др. В настоящее время счетно-перфорационные машины применяются для обработки экономической информации, механизации учета, при обработке статистических данных и т. п. Для выполнения сложных научных расчетов они не приспособлены.

В 30-е гг. XX в. в связи с развитием автоматических телефонных станций широкое распространение получила релейная техника. В это

время американский физик Говард Айкен, занимавшийся решением нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений, пытаясь придумать несложные машины для автоматического решения частных задач, пришел к идее автоматической вычислительной машины, способной решать широкий круг научно-технических задач. Под руководством Айкена в 1939 г. началась разработка автоматической вычислительной машины MARK-1, законченная в 1944 г. В машине использовались механические зубчатые колеса для представления десятичных чисел и электромеханические реле для управления работой машины. Команды, управлявшие работой машины, вводились с перфорированной ленты. После выполнения каждой команды лента сдвигалась, в результате чего под электрическими контактными щетками оказывались позиции следующей команды. Машина MARK-1 выполняла деление за 15,3 с.

В 1947 г. была закончена разработка машины MARK-2, в которой для представления чисел, выполнения арифметических операций и управления работой машины использовались электромеханические реле, общее число которых составляло 13 000. Машина выполняла операцию сложения чисел за 300 мс и умножения за 700 мс. В эти же годы в разных странах было построено еще несколько различных электромеханических машин, из которых наиболее совершенной оказалась релейная вычислительная машина RBM-1, сконструированная и построенная под руководством советского инженера Н. И. Бессонова. Ряд технических новшеств настолько улучшил ее надежность и эксплуатационные качества по сравнению с аналогичными зарубежными машинами, что она успешно работала до 1965 г., конкурируя с уже действовавшими электронными машинами.

Электромеханические устройства явились существенным тормозом в деле дальнейшего увеличения скорости выполнения машинами вычислений. Поэтому уже в 40-е гг. началась работы по созданию вычислительных машин на электронных лампах. К тому времени был известен триггер, изобретенный М. А. Бонч-Бруевичем (1918 г.) и независимо от него американцами У. Икклзом и Ф. Джорданом (1919 г.). В 1946 г. в Пенсильванском университете (США) Дж. В. Моучли и Дж. П. Эккертом была сконструирована первая в мире электронная вычислительная машина ЭНИАК (ENIAC — Electronics Numerical Integrator and Computer, т. е. электронный цифровой интегратор и вычислитель). Машина предназначалась для военных целей, в частности для расчета баллистических таблиц стрельбы и бомбометания, а также для выполнения некоторых научно-технических вычислений. Она представляла собой огромное сооружение, состоящее из 40 панелей, расположенных П-образно. Машина содержала 18 000 электронных ламп, 1500 электромеханических реле и потребляла 150 кВт электроэнергии. Числа в машину вводились с помощью перфокарт. Программа вычислений набиралась на коммутационной панели с помощью штекеров и наборных полей. Машина выполняла умножение чисел за 2,8 мс, сложение за 0,2 мс.

Во время завершения работы над машиной ЭНИАК родилась идея принципиально новой ЭВМ, в которой для хранения программы и чисел

предусматривалось запоминающее устройство, а для представления чисел и выполнения операций над ними использовалась двоичная система счисления. Авторами этой идеи, положенной в основу ЭВМ ЭДВАК (1949 г.), были Дж. фон Нейман, Г. Гольдстейн и А. Беркс. Благодаря рациональным принципам построения ЭДВАК содержала всего около 3500 ламп. В последующие годы во многих странах было разработано большое число различных ЭВМ — ламповых ЭВМ *первого поколения*.

В СССР первая ЭВМ МЭСМ (малая электронная счетная машина) была построена в 1950 г. под руководством академика С. А. Лебедева. Под его же руководством в 1952 г. была завершена работа над БЭСМ (быстродействующей электронной счетной машиной). К моменту ввода в эксплуатацию БЭСМ была самой быстродействующей машиной в мире, обладая скоростью 8 тыс. операций в секунду. В 1953 г. была построена ЭВМ «Стрела» — первая серийная отечественная ЭВМ. В дальнейшем в СССР был разработан ряд ламповых ЭВМ с различными характеристиками. В 1954 г. была завершена работа над ЭВМ «Урал-1», выпускавшейся также серийно.

В 50-е гг. проводились работы по созданию быстродействующих запоминающих устройств большой емкости и высокой надежности на магнитных сердечниках, разработке внешних запоминающих устройств на магнитных барабанах и магнитных лентах. Среднее быстродействие ламповых ЭВМ первого поколения измерялось десятками тысяч арифметических и логических операций в секунду. Проводились исследования по разработке методов синтеза логических схем ЭВМ, теории цифровых автоматов; накапливался и обобщался опыт по структурной организации машин, технике программирования; расширялся круг задач, решаемых на ЭВМ; интенсивно развивалась вычислительная математика. Для повышения производительности труда программистов разрабатывались входные языки — сначала ассемблеры, ориентированные на конкретные машины, а затем языки высокого уровня типа ФОРТРАН (1956 г.).

На смену ламповым ЭВМ пришли полупроводниковые — ЭВМ *второго поколения* (1956 г.). Высокая надежность и быстродействие полупроводниковых приборов, их экономичность и малые размеры позволили резко увеличить количество оборудования и расширить функциональные возможности машин. Все это в совокупности с усовершенствованием структурной организации машин позволило достичь быстродействия в миллион операций в секунду в наиболее мощных ЭВМ второго поколения, таких, как «Стретч» (США), «Атлас» (Англия), БЭСМ-6 (СССР). Высокая надежность полупроводниковых ЭВМ дала возможность широко использовать их в разнообразных системах управления.

Разработка технологии производства интегральных схем в 60-е гг. привела к широкому их использованию, что положило начало *третьему поколению* ЭВМ. Продолжаются работы по исследованию новых принципов структурной организации машин, расширяется сфера их применения. При разработке машин третьего поколения отчетливо проявилась тенденция к унификации ЭВМ, созданию программно-совместимых машин (т. е. программа, написанная для одной машины,

может быть выполнена на другой). Ярким примером этой тенденции может служить система IBM/360 (США) и ЕС ЭВМ (Единая система электронных вычислительных машин), разработанная коллективами ученых, инженеров и рабочих стран социалистического содружества (ВНР, ГДР, НРБ, ПНР, СССР и ЧССР). Различные модели машин Единой системы различаются по своей производительности, но имеют общую конструктивную и элементную базу. Для них характерным является также модульность построения, в результате чего состав оборудования машины может меняться в зависимости от ее назначения, класса решаемых задач; в процессе эксплуатации машины к ней могут быть добавлены новые модули (памяти, устройств ввода-вывода, связи с объектами и т. д.).

В.3. ОБЩАЯ СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ЭВМ

Общая структурная схема ЭВМ изображена на рис. В.1, где одинарные стрелки показывают передачу управляющих сигналов, а двойные — чисел и команд. В машине выделяются три основных устройства: арифметико-логическое (АЛУ), оперативное запоминающее (ОЗУ) и устройство управления (УУ). Кроме того, в состав машины входит одно или несколько устройств ввода информации, вывода результатов и ВЗУ.

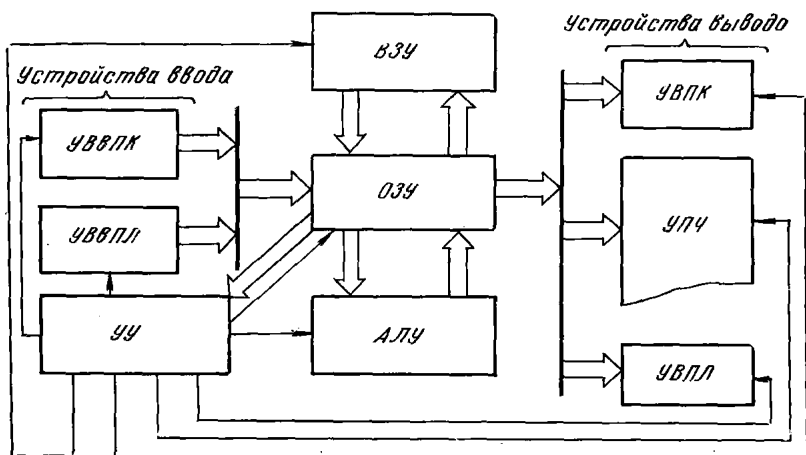


Рис. В.1

Для ввода в ЭВМ информации (программ и исходных данных) наиболее часто используются устройство ввода с перфокарт (УВВПК) и устройство ввода с перфоленты (УВВПЛ). Вывод результатов чаще всего осуществляется на устройство печати (УПЧ), устройство вывода на перфокарты (УВПК) и устройство вывода на перфоленту (УВПЛ). В качестве ВЗУ используются магнитные ленты, магнитные диски, магнитные барабаны.

АЛУ предназначено для выполнения арифметических и логических операций над данными (числами). Данные поступают в АЛУ из ОЗУ.

ОЗУ машины состоит из фиксированного числа ячеек; в каждой ячейке хранится одно машинное слово, которое можно рассматривать как число с фиксированным для данной ЭВМ количеством разрядов. *Машинное слово* может представлять собой либо данное, принимающее участие в арифметической или логической операции или получившееся в результате выполнения арифметической или логической операции, либо команду. Работа ЭВМ заключается в выполнении последовательности команд, составляющих *программу* работы машины для решения некоторой задачи.

Все ячейки ОЗУ пронумерованы числами $0, 1, 2, \dots, N - 1$. Номер ячейки называется ее *адресом*. Число, представляющее собой команду, разбивается на группы разрядов. Одна группа разрядов называется *кодом операции* и определяет арифметическую или логическую операцию, выполняемую АЛУ, либо операцию ввода-вывода и т. д. Другие группы разрядов команды либо указывают адреса ячеек ОЗУ, в которых хранятся *операнды* (данные, участвующие в операции) и адрес, по которому результат записывается в ОЗУ, либо содержат информацию о количестве вводимых данных или выводимых чисел при выполнении операций ввода-вывода и т. д. Существуют команды для задания последовательности выполнения команд программы.

ОЗУ служит для хранения команд программы, выполняемых в текущий период, и данных, обрабатываемых этими командами. *Емкость* ОЗУ, выражаемая числом ячеек N , составляет 16—32 тыс. для малых ЭВМ и 128—512 тыс. и более для больших ЭВМ. ОЗУ характеризуется высоким быстродействием (время для записи числа в ОЗУ или для чтения из ОЗУ обычно составляет 1—3 мкс). Для хранения больших массивов информации (данных, программ) в ЭВМ предусматриваются сравнительно медленные ВЗУ, емкость которых практически не ограничена (если учесть возможность смены магнитных лент и дисков). По мере обработки информации результаты выводятся из машины с помощью УПЧ или УВПК либо записываются на ВЗУ. Новые массивы переписываются из ВЗУ в ОЗУ либо вводятся с помощью УВВПК, УВВПЛ.

УУ обеспечивает чтение из ОЗУ каждой очередной команды программы и ее выполнение. Для выполнения команды УУ вырабатывает сигналы, управляющие работой узлов ЭВМ. После завершения выполнения команды УУ формирует адрес следующей команды и обеспечивает ее чтение из ОЗУ и т. д. Таким образом, действия, выполняемые ЭВМ, определяются командами программы. Такая организация работы ЭВМ называется *принципом программного управления*.

Принцип программного управления работой ЭВМ обеспечивает *универсальность* ЭВМ — возможность с помощью ограниченного набора команд составлять программы для решения широкого класса задач.

Чтобы составить программу решения задачи на ЭВМ, необходимо разработать алгоритм. *Алгоритмом* принято называть последовательность обработки информации, выполнение которой приводит к полу-