

**О. П. Новожилов**

# **АРХИТЕКТУРА КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ Часть 1**

**УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ ДЛЯ СПО**

*Рекомендовано Учебно-методическим отделом среднего профессионального образования в качестве учебного пособия для студентов образовательных учреждений среднего профессионального образования*

**Книга доступна в электронной библиотечной системе  
[biblio-online.ru](http://biblio-online.ru)**

**Москва ■ Юрайт ■ 2019**

УДК 681.3(075.32)  
ББК 32.973я723  
Н74

**Автор:**

**Новожилов Олег Петрович** — доктор технических наук, профессор.

**Рецензенты:**

*Хартов В. Я.* — кандидат технических наук, доцент кафедры компьютерных систем и сетей Московского государственного технического университета имени Н. Э. Баумана;

*Кузовкин В. А.* — профессор, доктор технических наук, профессор кафедры электротехники и автоматики Московского государственного технологического университета «Станкин»;

*Ткаченко В. М.* — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой математического обеспечения вычислительных систем Московского государственного института радиотехники, электроники и автоматики (технического университета).

**Новожилов, О. П.**

Н74 Архитектура компьютерных систем. В 2 ч. Часть 1 : учеб. пособие для СПО / О. П. Новожилов. — М. : Издательство Юрайт, 2019. — 271 с. — (Серия : Профессиональное образование).

ISBN 978-5-534-10299-4 (ч. 1)

ISBN 978-5-534-10300-7

Учебное пособие посвящено архитектуре современных компьютеров. Рассмотрен широкий круг вопросов, касающихся структурно-функциональной организации микропроцессоров, микропроцессорных систем, компьютеров и компьютерных систем, основной компьютерной памяти и дисковых накопителей, а также различных типов периферийных устройств.

Первая часть пособия включает в себя введение в компьютерную технику, микропроцессоры и микропроцессорные системы, а также основную память компьютера. Во вторую часть входят устройства хранения, устройства ввода и вывода и параллельные компьютерные системы.

Соответствует актуальным требованиям Федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования и профессиональным требованиям.

*Книга будет полезна студентам и преподавателям образовательных учреждений среднего профессионального образования инженерно-технических специальностей.*

УДК 681.3(075.32)

ББК 32.973я723



*Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав. Правовую поддержку издательства обеспечивает юридическая компания «Дельфи».*

ISBN 978-5-534-10299-4 (ч. 1)  
ISBN 978-5-534-10300-7

© Новожилов О. П., 2012  
© ООО «Издательство Юрайт», 2019

# Оглавление

Предисловие .....	5
Аббревиатуры .....	8

## Раздел 1

### ВВЕДЕНИЕ В КОМПЬЮТЕРНУЮ ТЕХНИКУ

<b>Глава 1. Начальные сведения.....</b>	<b>10</b>
1.1. История развития компьютеров .....	10
1.2. Основные компьютерные средства .....	13
1.3. Организация цифровой информации и ее хранения.....	19
1.4. Общие принципы функционирования компьютера .....	25
<b>Глава 2. Аппаратные средства .....</b>	<b>27</b>
2.1. Состав компьютера .....	27
2.2. Общие сведения о микропроцессорах.....	28
2.3. Интерфейсные устройства.....	39
<b>Глава 3. Программные средства .....</b>	<b>52</b>
3.1. Основные виды программных средств .....	52
3.2. Адресные пространства .....	56
3.3. Системные ресурсы и их распределение .....	63
<b>Глава 4. Функционирование компьютера .....</b>	<b>67</b>
4.1. Начальный запуск и самотестирование .....	67
4.2. Загрузка операционной системы и прикладных программ ...	68
4.3. Обмен данными.....	70

## Раздел 2

### МИКРОПРОЦЕССОРЫ И МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ СИСТЕМЫ

<b>Глава 5. Архитектура процессоров .....</b>	<b>77</b>
5.1. Принципы построения процессоров.....	77
5.2. Структурно-функциональная организация процессоров .....	96

5.3. Адресация команд и данных .....	103
5.4. Команды .....	107
<b>Глава 6. Микропроцессорные системы .....</b>	<b>118</b>
6.1. Структурно-функциональная организация микропроцессорных систем .....	118
6.2. Организация работы микропроцессорной системы .....	134
6.3. Обмен данными в параллельном коде .....	142
6.4. Последовательный обмен данными .....	150
6.5. Организация прерываний в микропроцессорных системах .....	160
6.6. Прямой доступ к памяти .....	174

### Раздел 3

## ОСНОВНАЯ ПАМЯТЬ КОМПЬЮТЕРА

<b>Глава 7. Введение в полупроводниковую память .....</b>	<b>181</b>
7.1. Начальные сведения .....	181
7.2. Структурно-функциональная организация памяти .....	190
7.3. Логическая организация памяти .....	203
<b>Глава 8. Постоянные запоминающие устройства .....</b>	<b>216</b>
8.1. Память типа ROM и ее разновидности .....	216
8.2. Флэш-память .....	224
<b>Глава 9. Статические ОЗУ .....</b>	<b>236</b>
9.1. Особенности статической памяти .....	236
9.2. Структурно-функциональная организация статических ОЗУ .....	240
<b>Глава 10. Динамические ОЗУ .....</b>	<b>251</b>
10.1. Особенности динамических ОЗУ .....	251
10.2. Асинхронная и синхронная DRAM .....	263
10.3. Микросхемы и модули динамической памяти .....	272

# Предисловие

Учебное пособие написано в соответствии с программой ОПД.Ф.07 «Организация ЭВМ и систем» по направлению подготовки дипломированного специалиста «Информатика и вычислительная техника» с учетом программ по другим направлениям.

**Объекты изучения.** Основными объектами являются устройства персональных компьютеров фирмы IBM PC. Это связано со следующими обстоятельствами:

- прежде всего, персональные компьютеры вытеснили ЭВМ, обладая более широкими функциональными возможностями и лучшими техническими характеристиками. В компьютерах используются современные технические решения и технологии;
- благодаря открытости стандартов и спецификаций компьютеры, совместимые с IBM PC (в отличие от Macintosh компании Apple Computer), а также их отдельные компоненты и устройства производятся многими фирмами и получили самое широкое распространение;
- технические решения и технологии, отдельные компоненты и устройства персональных компьютеров (как покупные изделия) могут быть использованы при проектировании и разработке компьютерных систем различного целевого назначения.

К другим объектам относятся параллельные компьютерные системы.

**Цель учебного пособия** — дать общее представление:

- о принципах построения и функционирования центральных и периферийных устройств современных компьютеров;
- о взаимодействии аппаратных и программных компьютерных средств;

- о современных компьютерных технологиях;
- о конструктивном исполнении компьютерных устройств и комплектующих изделий;
- об основных тенденциях и направлениях развития современных компьютерных средств.

**Структура пособия.** Учебное пособие содержит 20 глав, разбитых на 6 разделов. Используется сквозная нумерация глав, двойная нумерация параграфов (номер главы, номер параграфа), а также рисунков и таблиц в пределах каждой главы.

**Содержание пособия.** Раздел 1. ВВЕДЕНИЕ В КОМПЬЮТЕРНУЮ ТЕХНИКУ. Этот базовый раздел пособия, состоящий из 4 глав, дает общее представление об истории развития компьютерной техники, аппаратных и программных средствах, об особенностях организации цифровой информации и общих принципах функционирования компьютера.

Раздел 2. МИКРОПРОЦЕССОРЫ И МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ СИСТЕМЫ. В разделе из двух глав рассматриваются основополагающие принципы структурно-функциональной организации микропроцессоров и микропроцессорных систем: общие принципы построения процессоров, архитектура 8-разрядного процессора, принципы построения основных узлов системы и организации их взаимодействия, параллельный и последовательный способы обмена данными, организация прерываний и прямого доступа к памяти.

Раздел 3. ОСНОВНАЯ ПАМЯТЬ КОМПЬЮТЕРА. Данный раздел посвящен полупроводниковой памяти, которая совместно с процессором играет важную роль с точки зрения функционирования компьютера. В нем приводятся общие сведения о полупроводниковой памяти, о ее структурно-функциональной и логической организации. Описываются основные виды памяти: постоянная, статическая и динамическая.

Раздел 4. УСТРОЙСТВА ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ. В двух главах раздела рассматриваются наиболее популярные в настоящее время магнитные и оптические способы записи данных для хранения и их реализации в виде дисковых накопителей.

Раздел 5. УСТРОЙСТВА ВВОДА И ВЫВОДА. Этот раздел, включающий в себя 4 главы, посвящен клавиатурам, манипуляторам типа мышь, сканерам и дигитайзерам, мониторам, видеоадаптерам и печатающим устройствам.

Раздел 6. ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ. Раздел содержит 4 главы. В нем раскрываются вопросы параллельной

обработки информации. В главе 17 рассматриваются общие вопросы: пути повышения производительности компьютеров, классификация компьютерных систем, коммуникационные сети, программное обеспечение, элементная база. В остальных главах излагается материал по трем основным типам компьютеров параллельного действия: мультипроцессорам, мультикомпьютерам и процессорам типа SIMD.

**Оформление пособия.** Для лучшего восприятия и понимания сути излагаемых вопросов материал учебного пособия подробно структурирован, использованы текстовые выделения, приведено большое количество иллюстраций. Имеется указатель наиболее важных понятий и терминов. Для облегчения форматирования вместо знака инверсии используется принятое фирмой Intel обозначение #, например вместо  $X$  используется  $X\#$ . В тексте пособия в квадратных скобках приводятся работы из библиографического списка.

При написании пособия большое внимание было уделено выбору содержания тем и последовательности их изложения. Материал излагается с учетом двухступенчатой подготовки специалистов (бакалавр — магистр) и может быть полезен аспирантам и преподавателям.

Автор надеется, что приведенный в учебном пособии материал поможет студентам сформировать целостное представление об основных концепциях и общих тенденциях развития компьютерной техники.

В результате изучения дисциплины студент должен освоить:

***трудовые действия***

- владения терминологией, навыками работы с технической документацией и методиками оценки показателей качества и эффективности ЭВМ и систем;

***необходимые умения***

- проводить анализ архитектуры и структуры ЭВМ и систем;
- оценивать эффективность архитектурно-технических решений, реализованных при построении ЭВМ и систем;

***необходимые знания***

- составных частей, общих принципов организации и функционирования компьютерных систем;
- архитектуры процессоров и микропроцессорных систем;
- основной памяти и периферийных устройств;
- основных типов компьютеров параллельного действия.

## Аббревиатуры

АЛУ	— арифметическо-логическое устройство
БИС	— большая интегральная схема
БМУ	— блок микропрограммного управления
ВВ	— ввод-вывод
ВУ	— внешнее устройство
ЖК	— жидкие кристаллы
ЗУ	— запоминающее устройство
КО	— код операции
МК	— микрокоманда
МП	— модуль памяти
МС	— микропроцессорная система
МЦ	— машинный цикл
НГМД	— накопитель на гибких магнитных дисках
НЖМД	— накопитель на жестких магнитных дисках
ОЗУ	— оперативное запоминающее устройство
ОС	— операционная система
ПА	— периферийный адаптер
ПДП	— прямой доступ к памяти
ПЗУ	— постоянное запоминающее устройство
ПК	— персональный компьютер
ПЭ	— процессорный элемент
РК	— регистр команд
РОН	— регистр общего назначения
РП	— регистр признаков
САПР	— система автоматизации проектирования
СБИС	— сверхбольшая интегральная схема
ЦАП	— цифро-аналоговый преобразователь
ЦП	— центральный процессор
ЦСП	— цифровой сигнальный процессор
ШД	— шаговый двигатель
ЭВМ	— электронно-вычислительная машина
ЭЛТ	— электронно-лучевая трубка



## Раздел 1

# Введение в компьютерную технику

Компьютер представляет собой совокупность средств, предназначенных для цифровой обработки информации с выводом результатов в требуемой форме. В течение длительного времени компьютеры развивались как средства, способствующие облегчению вычислений при решении различных математических задач. До недавних пор понятие «компьютер» трактовалось как «одно из названий электронно-вычислительной машины, принятое в иностранной литературе» (Политехнический словарь. М. : Советская энциклопедия, 1976. 608 с.). Компьютеры прошли путь от простых механических вычислителей до сложных цифровых электронных систем, способных обрабатывать практически любой вид исходной информации.

Среди имеющегося многообразия различных компьютеров и компьютерных систем важное место занимает *персональный компьютер* (ПК), обладающий уникальными свойствами:

- ⇒ широкие функциональные возможности. Помимо традиционной для ЭВМ вычислительной работы ПК может быть задействован для моделирования электронных схем, разработки печатных плат, оформления конструкторской документации, управления технологическими процессами и во многих других операциях;
- ⇒ производительность ПК сравнима с большими ЭВМ недавнего прошлого;
- ⇒ обеспечивает пользователю комфортные условия интерактивного взаимодействия (диалога) через различные устройства ввода-вывода, а также многие другие возможности.

Цель раздела — сформировать общее представление о персональных компьютерах, совместимых с самым массовым семейством компьютеров фирмы IBM, или с *PC-совместимыми* компьютерами.

# Глава 1. НАЧАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ

## 1.1. История развития компьютеров

В развитии компьютерной техники следует выделить два этапа.

**Этап механических калькуляторов и вычислительных машин.** К одному из первых *калькуляторов* относится абак, который появился более 2000 лет назад и представлял собой деревянную раму, содержащую ряд параллельных прутьев с камешками или костяшками. Абак напоминает бухгалтерские счеты. Различные арифметические действия выполняются по определенным правилам путем перемещения костяшек в правую или левую сторону. В начале XVII в. создателем логарифмов Дж. Непером была разработана машина, способная выполнять операцию умножения двух чисел. В 1694 г. *Г.В. Лейбниц* создал калькулятор для операций сложения и умножения чисел. В 1820 г. Ч. Томасом был представлен первый коммерческий механический калькулятор, выполнявший операции сложения, вычитания, умножения и деления.

Первую механическую *вычислительную* машину предложил в 1823 г. профессор математики Кембриджского университета Ч. Баббадж. Эта машина имела все основные элементы, из которых состоит ЭВМ:

- ⇒ *процессор*, или *вычислительное устройство*, высотой около трех метров, содержащий сотни осей и несколько тысяч шестеренок;
- ⇒ *запоминающее устройство* (для хранения в памяти до тысячи 50-разрядных чисел), включающее еще большее количество осей и шестеренок;
- ⇒ *устройство ввода данных* с помощью перфокарт;
- ⇒ *устройство вывода* на печать полученных результатов;
- ⇒ *блок управления*, в качестве которого использовался барабан, содержащий множество пластин и штифтов.

Из-за недостаточной точности механической обработки шестеренок и механизмов первый потенциальный компьютер так и не был полностью построен.

Идея использования перфорационных карт была воплощена только в 1890 г. служащим бюро переписи Г. Холлеритом. Впоследствии Холлерит основал фирму *Tabulating Machine Company*, которая спустя многие годы стала известна как *IBM*. Эта фирма разработала серию счетно-аналитических машин, позволявших обрабатывать от 50 до 250 перфокарт в минуту. Машины выполняли операции сложения, умножения и сортировки данных, которые могли содержать 80-разрядные

числа, с выводом результатов вычислений на перфорационных картах. На протяжении более чем 50 лет счетно-перфорационные машины использовались для самых разных математических вычислений.

**Этап ЭВМ и компьютеров.** В истории развития вычислительной и компьютерной техники выделяют несколько поколений устройств, отличающихся элементной базой, назначением, функционально-логической организацией, конструктивно-технологическим исполнением, программным обеспечением, техническими и эксплуатационными характеристиками, пользовательским интерфейсом и рядом других показателей.

**Первое поколение (1945—1955).** Машины этого поколения строились на лампах, резисторах, конденсаторах, трансформаторах, в оперативной памяти использовались ферритовые сердечники. Устройствами ввода-вывода сначала служила стандартная телеграфная аппаратура, а затем специально для ЭВМ были разработаны электро-механические устройства на перфокартах и перфолентах. Для ЭВМ первого поколения характерны огромные размеры, низкая надежность, невысокое быстродействие, малая емкость оперативной памяти и ряд других недостатков.

**Второе поколение (1955—1965).** К основным особенностям ЭВМ второго поколения следует отнести:

- ⇒ использование транзисторов в качестве ключей, магнитных носителей (ленты, барабаны, диски) и печатного монтажа;
- ⇒ появление дисплеев с возможностью пиксельного отображения информации;
- ⇒ использование шин для организации параллельной работы основных устройств ЭВМ, что содействовало появлению многопрограммных ЭВМ;
- ⇒ появление алгоритмических языков в программном обеспечении;
- ⇒ введение специализации по применению.

Благодаря этим нововведениям уменьшены размеры, масса, потребляемая мощность и стоимость, повышены надежность и быстродействие, увеличен объем памяти.

**Третье поколение (1965—1980).** Главной особенностью ЭВМ третьего поколения является широкое применение *интегральных схем* (ИС) с многослойным печатным монтажом. Выполненная на кристалле ИС представляет собой законченный функциональный узел, соответствующий устройству на сложной транзисторной схеме. К другим особенностям следует отнести:

- ⇒ появление микропроцессора и микросхем памяти;

- ⇒ использование магнитного диска в качестве основного носителя информации;
- ⇒ увеличение в ЭВМ количества устройств ввода-вывода;
- ⇒ появление возможности удаленного доступа пользователей к ЭВМ, находящихся на значительных расстояниях от передающего устройства;
- ⇒ использование ЭВМ в режиме разделения времени (многопользовательский режим работы);
- ⇒ дальнейшее развитие программного обеспечения (особенно операционных систем);
- ⇒ тенденцию к унификации ЭВМ;
- ⇒ применение методов автоматического проектирования и ряд других новшеств.

В машинах третьего поколения сделан большой шаг вперед в области создания мини- и микроЭВМ.

Четвертое поколение (1980—2000). На показатели машин этого поколения повлияли разработка и внедрение *больших* (БИС) и *сверхбольших* (СБИС) интегральных схем. Высокая степень интеграции способствовала улучшению многих характеристик ЭВМ (расширению функциональных возможностей, увеличению быстродействия, снижению стоимости и др.). Однако главной особенностью данного этапа развития ЭВМ стало появление *персональных компьютеров*. Если раньше ЭВМ были настолько громоздкие и дорогостоящие, что их могли приобретать только организации и для их эксплуатации приходилось иметь специальные отделы (вычислительные центры), то персональные компьютеры стали доступны частным лицам. Первые персональные компьютеры продавались в виде комплектов, содержащих печатную плату, набор интегральных схем, несколько кабелей, источник питания и 8-дюймовый дискетод. Покупатель сам должен был собрать из этих блоков компьютер, а также приобрести дискету с операционной системой и интересующим его прикладным программным обеспечением. В 1981 г. появился первый компьютер фирмы IBM PC, ставший самым покупаемым. Так начиналась *эра персональных компьютеров*, которые благодаря своим уникальным качествам и возможностям получили широкое распространение.

Пятое поколение (2000 г. — по настоящее время). Современному развитию компьютерных средств присущи следующие *характерные черты*:

- ⇒ дальнейшее совершенствование аппаратного и программного обеспечения компьютерной техники;

⇒ сближение персональных компьютеров и суперкомпьютеров. Развитие персональных компьютеров идет по пути повышения производительности (за счет параллельной обработки), расширения их функциональных возможностей, внедрения новых технологий обработки данных, использования более сложных схемных и конструкторско-технологических решений. В суперкомпьютерах стремятся использовать типовые компоненты и унифицированные решения;

⇒ интенсивная разработка компьютерных сетей и технологий.

Компьютерная техника — одна из наиболее динамично развивающихся сфер человеческой деятельности, поэтому весьма трудно (и, может быть, опрочетливо) высказывать какие-либо прогнозы относительно ее дальнейшего развития.

## 1.2. Основные компьютерные средства

**Основные функциональные блоки компьютера.** С точки зрения выполняемых функций персональный компьютер можно представить как микропроцессорную систему, содержащую четыре блока, или подсистемы (рис. 1.1):

- ⇒ *центральный процессор*, на который возлагается выполнение основных функций по организации обработки цифровой информации;
- ⇒ *блок основной памяти*, предназначенный для хранения и выдачи цифровой информации (команд и данных) исполняемых программ.

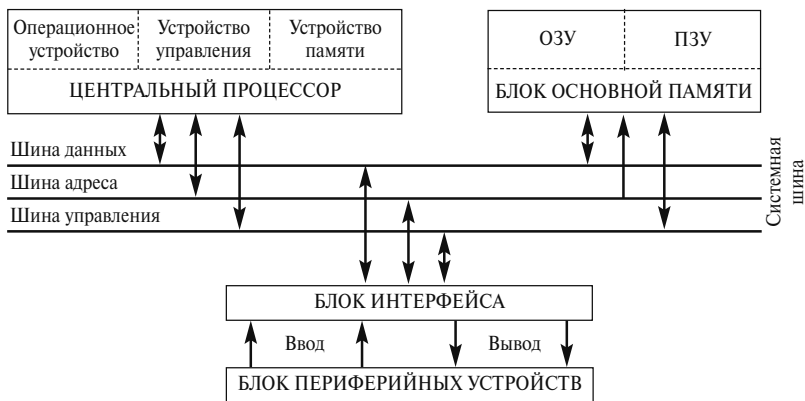


Рис. 1.1. Структурно-функциональная организация компьютера

- По сути дела, блок основной памяти обеспечивает нормальное функционирование центрального процессора и микропроцессорной системы (компьютера) в целом при выполнении программы;
- ⇒ *блок периферийных* (внешних) *устройств*, предназначенных для ввода исходной информации, управления работой компьютера, вывода результатов обработки и преобразования их к виду, удовлетворяющему требованиям пользователя;
  - ⇒ *блок интерфейса*, обеспечивающий взаимодействие устройств и компонентов микропроцессорной системы, т.е. их сопряжение (согласование, совместимость) на аппаратном, программном и конструктивном уровнях.
- Рассмотрим в общих чертах отдельные функциональные блоки микропроцессорной системы.

**Центральный процессор.** В процессоре можно выделить три составные части:

- ⇒ *операционное устройство*, выполняющее определенный набор команд (инструкций): команды пересылки данных; команды арифметических, логических и битовых операций; команды безусловной передачи управления и условных переходов; команды организации программных циклов и др. Набор команд современных процессоров насчитывает несколько сотен. В схемном отношении операционное устройство представляет собой набор узлов для реализации современных технологий (выполнение целочисленных операций и операций с плавающей точкой, потоковая обработка данных и др.). В первых процессорах операционное устройство формировалось на основе арифметическо-логического устройства (АЛУ);
- ⇒ *устройство управления*, основные функции которого состоят в управлении процессом выполнения команд, а именно в формировании требуемой последовательности управляющих сигналов (микрокоманд, выполняемых на одном процессорном такте). Совокупность микрокоманд представляет собой микропрограмму для данной команды. При выполнении отдельных микрокоманд используются осведомительные сигналы (логические условия, признаки, флаги), поступающие со стороны операционного устройства. Осведомительные сигналы информируют устройство управления о состоянии операционного устройства;
- ⇒ *устройство памяти* в виде набора регистров, образующих внутреннюю быстродействующую память процессора. Часть регистров доступна программисту и предназначена для хранения операндов и выполнения действий над ними, формирования адреса для взаи-

модействия с основной памятью и других действий. Хранение во внутренних регистрах операндов значительно ускоряет выполнение программы, так как отсутствует необходимость обращения к основной памяти, которое требует дополнительного времени. Другая часть регистров, доступ к которым может быть ограничен и даже исключен (программно-невидимые регистры), используется процессором для служебных (системных) целей. К устройству памяти можно отнести встроенную кэш-память, которую имеют все современные процессоры.

Помимо приведенных основных устройств процессоры содержат ряд специфических устройств, используемых для реализации различных (процессорных) технологий [10, 12].

**Блок основной памяти.** Этот блок содержит:

⇒ *оперативное запоминающее устройство (ОЗУ)*, предназначенное для хранения *команд* выполняемой программы (или ее фрагментов) и подлежащих обработке *данных*. В современных персональных компьютерах объем ОЗУ достигает сотен мегабайт и более. Обращение к ОЗУ по системной шине требует значительных затрат времени, поэтому для повышения скорости обмена данными (включая и считывание команд) дополнительно вводится до трех уровней быстродействующей буферной кэш-памяти объемом от нескольких единиц до сотен килобайт и более. Первый и второй уровни кэш-памяти обычно располагаются в микропроцессоре. Оперативная память вместе с кэшем всех уровней представляет собой единый массив памяти, непосредственно доступный процессору для записи и чтения данных, а также считывания программного кода. Оперативные запоминающие устройства реализуются на модулях (микросхемах) динамической памяти;

⇒ *постоянное запоминающее устройство (ПЗУ)*, предназначенное для хранения стандартных (неизменяемых) программ и констант (например, национальных шрифтов). В ПЗУ обычно записываются программы начальной инициализации (загрузки) систем, тестовые и диагностические программы и другое служебное программное обеспечение, которое не меняется в процессе эксплуатации систем. В качестве ПЗУ используется память ROM — Read Only Memory (память только для чтения), репрограммируемая память EEPROM — Electrically Erased Programmable Read Only Memory или флэш-память. Оперативная и постоянная память логически располагается в едином адресном пространстве и поэтому является *основной памятью* компьютера, обеспечивающей его нормальное функционирование.

**Блок периферийных устройств.** Периферийными, или внешними, устройствами называются устройства, не обладающие системными ресурсами, к которым относятся *адресные пространства памяти и ввода-вывода, каналы запросов прерываний и прямого доступа к памяти*, т.е. средства, используемые устройствами для обмена данными. Устройства, обладающие системными ресурсами, называются *системными устройствами*. Процессор имеет возможность непосредственного обращения к системным устройствам и не имеет возможности непосредственного обращения к периферийным устройствам. Поэтому периферийные устройства подключаются к интерфейсам системных устройств. Например:

⇒ *винчестер*, подключенный к контроллеру, является *периферийным* устройством, так как он не занимает отдельных ресурсов и процессор обращается к нему через ресурсы контроллера;

⇒ *контроллер* является *системным устройством*, так как обладает системными ресурсами в виде портов и линий прерывания, имеющих собственные адреса.

Периферийные устройства располагаются в системном блоке (дисковые накопители) и вне его (монитор, сканер и многие другие). Отметим, что к внешним устройствам относится ряд вспомогательных устройств, которые в данном пособии не рассматриваются. Это устройства электропитания, кондиционирования и вентиляции, счетчики времени и электронные часы, сервисная аппаратура для автономной проверки работоспособности плат и блоков и др.

**Блок интерфейса.** Этот блок содержит средства, обеспечивающие взаимодействие между процессором, основной памятью и периферийными устройствами (рис. 1.1). К интерфейсу относится и *системная шина (магистраль)*, содержащая большое количество линий (проводников), которые в соответствии с их функциональным назначением подразделяются на *три* отдельные шины:

⇒ *шина данных*, которая служит для выборки команд, поступающих из ОЗУ или ПЗУ в устройство управления микропроцессора, а также для пересылки обрабатываемых данных (операндов) между микропроцессором и ОЗУ или внешним устройством. В первых поколениях компьютеров количество линий (8, 16 или 32) шины данных соответствовало разрядности операндов, обрабатываемых микропроцессором. В современных 32-разрядных компьютерах используется 64-разрядная шина данных, чтобы обеспечить одновременную пересылку из памяти в процессор двух команд или операндов;



⇒ *шина адреса*, предназначенная для передачи адреса. Адрес формируется микропроцессором для выбора необходимой ячейки основной памяти (ОЗУ, ПЗУ) или системного устройства (например, порта ввода-вывода), к которому подключено требуемое периферийное устройство. Для IBM-совместимых компьютеров принят объем адресуемой ячейки, равный 1 байту. Поэтому разрядность шины адреса определяет максимальный объем адресуемой процессором внешней памяти. Например, 32-разрядная шина адреса обеспечивает адресацию памяти объемом до  $2^{32}$  байт = 4 Гбайт, а 36-разрядная шина — до  $2^{36}$  байт = 64 Гбайт;

⇒ *шина управления*, предназначенная для передачи разнообразных управляющих сигналов. Они задают режимы работы *памяти* (запись или считывание), *интерфейсных* устройств (ввод или вывод информации) и *микропроцессора* (запуск, запросы внешних устройств на обслуживание, выдача информации о текущем режиме работы и др.). Разрядность шины управления определяется организацией работы системы, возможностями реализации различных режимов ее функционирования, используемыми методами контроля микропроцессора и других устройств. Поэтому набор передаваемых по этой шине управляющих сигналов является индивидуальным для каждой модели микропроцессора. Имеется ряд управляющих сигналов, которые используются в большинстве микропроцессорных систем. К ним относятся сигналы начального запуска (RESET); сигналы, задающие режим работы памяти (чтение — RD, запись — WR); сигналы, необходимые для реализации прерываний, и ряд других.

Интерфейсные средства, или средства сопряжения устройств и компонентов компьютера, можно разбить на несколько групп:

⇒ *шинный интерфейс*, содержащий *шины расширения*, или *шины ввода-вывода*, и рассмотренную выше *системную шину*. Шины расширения обеспечивают основу функциональной расширяемости PC-совместимого компьютера, ориентируя его на выполнение (помимо вычислительных) широкого круга различных задач (формирование и обработка видеоизображений, графика, текстовые документы и многие другие) с помощью периферийных устройств. Шины расширения предназначены для подключения различных адаптеров и контроллеров периферийных устройств к системной плате. *Адаптеры* и *контроллеры* служат средством сопряжения периферийных устройств с конкретной шиной (по сути дела, с центральными устройствами — процессором и основной памятью). В отличие от адаптера *контроллер* после получения команды от обслуживающей программы способен к самостоятельным действиям. Адаптеры и контроллеры облада-

ют системными ресурсами (при адресации к ним происходит обращение процессора к периферийным устройствам);

⇒ *системная логика*, представляющая собой набор микросхем, устанавливаемых на системной плате для организации обмена данными между центральным процессором и периферийными устройствами. Такой набор микросхем называют *чипсетом* (Chipset). Чипсет включает в себя интерфейс шины процессора, контроллеры памяти, шины ввода-вывода и др. На современные чипсеты возлагается выполнение большого количества разнообразных функций;

⇒ *конструктивные интерфейсные средства*, к которым относится ряд конструктивных элементов: карты (платы) расширения, слоты, сокет, переключатели, кабели, разъемы и др.

Существует широкий класс *коммуникационных устройств*, предназначенных для передачи информации между компьютерами. В частности, эти устройства обеспечивают соединение компьютеров в локальной сети.

**Архитектура РС-совместимых компьютеров.** *Архитектура компьютера* представляет собой совокупность его аппаратных и программных средств, обеспечивающих обработку цифровой информации. В любом IBM PC-совместимом компьютере реализуется *принстонская архитектура*, предложенная для вычислительных машин Дж. фон Нейманом в 1945 г. Она имеет следующие основные признаки:

⇒ машина состоит из *АЛУ, памяти, устройств управления и ввода-вывода*;

⇒ программы и данные хранятся в одной и той же памяти, т.е. используется *концепция хранимой программы*;

⇒ выполняемые действия определяются АЛУ и устройством управления, которые являются основой *центрального процессора*;

⇒ при исполнении команд используется принцип *последовательной передачи управления*. Согласно этому принципу центральный процессор выбирает команды из памяти и исполняет их последовательно (одна за другой), при этом адрес очередной команды задается счетчиком адреса устройства управления;

⇒ данные, с которыми работает программа, могут включать *переменные* — именованные области памяти. Именно в них сохраняются значения с целью дальнейшего использования в программе.

Подавляющее большинство современных компьютеров построены на указанных принципах, включая и сложные многопроцессорные комплексы, которые можно рассматривать как объединение фон-неймановских машин. Однако некоторые (например, потоковые) машины строятся на других принципах.

**Программные средства.** Компьютеры относятся к программно-управляемым устройствам, для функционирования которых необходимо программное обеспечение. Выделяют три уровня программных средств:

- ⇒ *базовая система ввода-вывода*, обеспечивающая запуск и тестирование компьютера, загрузку операционной системы и ряд других важных функций;
- ⇒ *операционная система*, предназначенная для загрузки и обслуживания прикладных программ;
- ⇒ *прикладное программное обеспечение*, обеспечивающее потребности пользователя.

### 1.3. Организация цифровой информации и ее хранения

**Основные понятия.** Понятие информация происходит от латинского термина *informatio* — *разъяснение, изложение, осведомление* и имеет много различных интерпретаций. В дальнейшем под информацией будем понимать *сведения* об объектах и явлениях материального мира, их параметрах, свойствах и состоянии, *которые поступают в виде* речи, текста, изображения, графиков, таблиц, звуковых, световых, электрических сигналов и других *сообщений* по каналу связи от источника к получателю. Отметим, что обычно понятие *информация* отождествляется с понятием *данные*. Цифровая информация поступает в виде электрических сигналов, принимающих только два уровня (низкий и высокий), которым при кодировании приписывают значения 0 или 1. Это обстоятельство позволяет представлять цифровую информацию в виде двоичных чисел. Для оценки объема (емкости) информации используется суммарное количество разрядов двоичного числа. Минимальному объему цифровой информации соответствует один разряд двоичного числа (0 или 1), называемый *битом*. Бит является минимальным информационным элементом. Используя в качестве классификационного признака *объем информации*, можно выделить две группы объектов цифровой информации.

**Информационные элементы.** К ним относятся объекты с малым объемом информации:

- ⇒ *бит*, используемый в качестве осведомительного сигнала (флага) для управления устройствами при обработке данных;

- ⇒ *тетрада* (полубайт), объем информации которой составляет всего 4 бита. Тетрада служит для представления одного разряда десятичных чисел;
- ⇒ *байт* — 8-разрядное двоичное число. Байт является минимально адресуемой (к основной памяти) единицей информации, которую можно переслать между отдельными функциональными узлами компьютера. Кроме того, байт служит единицей измерения объема цифровой информации;
- ⇒ *слово* (Word) — 16-разрядное двоичное число, или два смежных (соседних) байта. Его объем составляет 16 бит, или 2 байта;
- ⇒ *двойное слово* (Double Word) — 32-разрядное двоичное число, или два смежных слова. Его объем составляет 32 бита, или 4 байта;
- ⇒ *четвертное слово* (Quad Word) — 64-разрядное двоичное число, или два двойных слова. Его объем составляет 64 бита, или 8 байт.

Информационные элементы можно отнести к *оперативной* информации, которую обрабатывает компьютер в процессе загрузки и выполнения программы. Для их временного *хранения* используются ячейки оперативной памяти или регистры (процессора или порта ввода-вывода). Как указывалось выше, минимальной адресуемой единицей является байт. Поэтому каждая ячейка оперативной памяти и регистра предназначена для хранения 1 байта. Ячейки пронумерованы, т.е. у каждой ячейки есть свой уникальный адрес. Современные процессоры имеют разрядность физического адреса до 36 бит, что позволяет хранить информацию (или данные) объемом до  $2^{36}$  байт = 64 Гбайт. Пространство ввода-вывода использует младшие 16 бит адреса, что позволяет хранить информацию объемом  $2^{16}$  байта = 64 Кбайт. При этом младший байт слова хранится в ячейке с младшим адресом, последующие байты — в ячейках с возрастающими адресами.

**Файлы.** Информационные объекты, содержащие большой объем цифровой информации и представляющие собой именованную упорядоченную последовательность байтов, называются *файлами*. Файл служит основной единицей хранения (и передачи) информации в компьютере. В файлах могут храниться разнообразные виды и формы представления информации: тексты, рисунки, программы, таблицы и т.п.

Особенности конкретных файлов определяются их *форматом*, под которым понимается элемент языка, описывающий в символическом виде представление информации в файле. Например, текстовая информация хранится в кодах ASCII (American Standard Code for Information Interchange), в так называемом *текстовом* формате. Содержимое текстовых файлов можно просмотреть на экране монитора.

Для характеристики файла используются следующие параметры:

⇒ *полное имя*;

⇒ *объем файла в байтах*;

⇒ *дата создания файла*;

⇒ *время создания файла*;

⇒ *специальные атрибуты* файла: R (Read Only) — только для чтения, H (Hidden) — скрытый файл, S (System) — системный файл, A (Archive) — архивированный файл.

Имя файла состоит из двух частей: собственно имени (Filename) и расширения (Extension). В настоящее время используются два типа имен файлов:

⇒ *традиционный формат* 8.3 операционной системы MS DOS имеет длину имени файла от одного до восьми символов и расширение имени файла, состоящее из точки, за которой следует от одного до трех символов. При образовании имени нельзя использовать русские буквы и символы

«.», «.», «:», «;», «?», «<», «>», «=», «пробел».

Имя файла можно набирать как на верхнем, так и на нижнем регистре. В качестве имени файла можно использовать символьное имя устройства (PRN или LPT1 — принтер или любое устройство, подключенное к параллельному порту; COM1— внешнее устройство, подключенное к последовательному порту). Расширение имени (необязательное) служит для идентификации содержимого файла по типу. Например, для текстового процессора Word файл имеет расширение .doc. Расширения .bat, .com, .exe пакетного, командного и исполняемого файлов интерпретируются как команды для компьютера. Файл с расширением .bas предназначен для хранения программ на Бейсике;

⇒ *длинные имена*, используемые в операционных системах Windows 98, XP, NT и др. Такие имена могут содержать до 255 символов, кроме следующих:

«\», «/», «:», «\*», «?», «<», «>», «|» «.».

Для работы с группой файлов (копирование, удаление, перемещение, поиск и т.п.) используются *шаблоны имени файла* в виде двух символов — «\*» и «?», которые записываются в поле имени и/или в поле расширения файла, при этом:

⇒ символ «\*» служит для замены любой последовательности символов файла. Например, запись \*.doc означает обращение ко всем

файлам с расширением .doc; запись rg\*.\* указывает на обращение ко всем файлам, начинающимся на rg;

⇒ символ «?» предназначен для замены только одного символа.

В шаблоне может быть использовано несколько символов. Например, имя rg??.exe позволяет обратиться ко всем исполняемым файлам, имена которых состоят из четырех символов, причем первые два символа должны быть обязательно rg, а третий и четвертый — любые.

Для размещения файла на диске используются свободные кластеры в разных его частях. *Кластер* является минимальной единицей пространства, которое отводится файлу, и представляет собой группу смежных секторов. Например, на гибком диске 3,5 дюйма имеется 80 дорожек, разбитых на 9 секторов. В одном секторе хранится 512 байт. Кластер для гибкого диска содержит 1 или 2 сектора (512 байт или 1 Кбайт).

С понятием файла тесно связаны понятия *логического диска* и *каталога*, или *папки*.

Логический диск создается и управляется специальной программой (драйвером), имеет уникальное имя в виде одной латинской буквы (C, D, E, F и т.д.). Логический диск может быть реализован на жестком диске, на гибком диске, на CD-ROM, в оперативной памяти (электронный диск). На одном физическом диске может быть создано несколько логических дисков.

*Каталог* (*Directory* — справочник, директория), или *папка*, является средством объединения файлов на диске в логическую группу по тому или иному признаку. Каталог содержит полные имена файлов, их дату и время создания, объем, специальные атрибуты, что обеспечивает операционной системе доступ к каждому файлу. В каталог могут входить также другие каталоги (*подкаталоги*).

В операционных системах используется *иерархическая структура* организации каталогов (рис. 1.2). На каждом диске имеется *главный*, или *корневой*, каталог, который находится на нулевом уровне и обозначается символом «\». Главный каталог создается при форматировании диска, имеет ограниченный размер и не может быть удален средствами операционной системы. Входящие в главный каталог имена файлов и другие каталоги нижних уровней (*подкаталоги*) создаются и при необходимости удаляются соответствующими командами операционной системы. Каталоги именуются так же, как и файлы (обычно без расширения). При формировании файловой структуры соблюдаются следующие правила:

⇒ *файлы* или *подкаталоги* в одном и том же каталоге *не должны иметь одинаковых имен*;

- ⇒ *порядок следования имен файлов и подкаталогов (в каталоге) может быть произвольным;*
- ⇒ *файл может располагаться в разных секторах и на разных дорожках диска.*

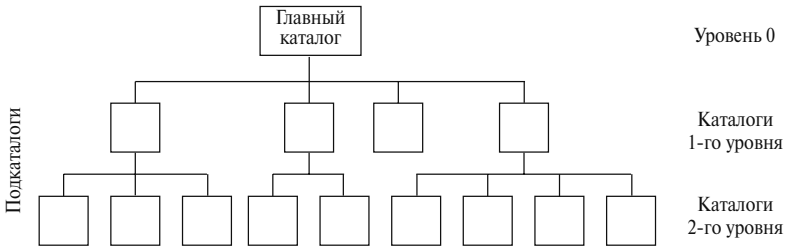


Рис. 1.2. Организация каталогов

Для доступа к содержимому файла необходимо указать путь, представляющий собой цепочку соподчиненных каталогов, которую необходимо пройти по иерархической структуре к каталогу, в котором зарегистрирован требуемый файл. При задании пути имена каталогов записываются в порядке следования и отделяются друг от друга символом «\». Рассмотрим три возможных варианта организации и доступа к файлу:

- ⇒ *файл находится в текущем каталоге* (в котором работает пользователь). В этом случае достаточно указать полное имя файла;
- ⇒ *файл находится в пассивном каталоге* (с которым не имеется связи) *одного из нижних уровней*, подчиненного текущему каталогу. В этом случае в пути должны быть указаны все имена соподчиненных каталогов нижнего уровня, включая каталог, в котором зарегистрирован файл;
- ⇒ *файл находится в пассивном каталоге на другой ветке по отношению к местонахождению текущего каталога иерархической структуры*. При организации доступа к файлу необходимо указать путь, начиная с главного каталога, т.е. с символа «\». Это обусловлено тем, что в иерархической структуре движение разрешено только по вертикали (сверху вниз), горизонтальные переходы недопустимы.

**Таблица размещения файлов.** Таблица размещения файлов (FAT — File Allocation Table), или FAT-таблица, предназначена для размещения и поиска файлов. Она хранится на системном диске сразу после блока начальной загрузки. Количество ячеек FAT-таблицы соответствует числу кластеров на диске. Каждая ячейка таблицы содержит но-

мер кластера. В каталоге хранятся записи о файлах, в которых наряду с другими характеристиками файла указан номер его первого кластера К1. Поэтому при организации доступа к файлу сначала обращаются к ячейке FAT-таблицы, номер которой указан в записи каталога. В ячейке с номером первого кластера К1 файла хранится номер второго кластера К2, в ячейке с номером второго кластера К2 файла хранится номер третьего кластера К3 и т.д. Таким образом создается цепочка кластеров, которые занимает файл (рис. 1.3). В ячейку с номером последнего кластера файла заносится код FFF или FFFF для указания конца цепочки. Кластеры цепочки могут находиться в разных местах диска, свободных на момент записи файла на диск. В этом случае говорят, что файл *фрагментирован*, так как хранится на диске в виде отдельных фрагментов. Процедура *дефрагментации* файлов, выполняемая с помощью специальных программ, позволяет разместить файлы в соседних кластерах, что сокращает время доступа к каждому файлу.

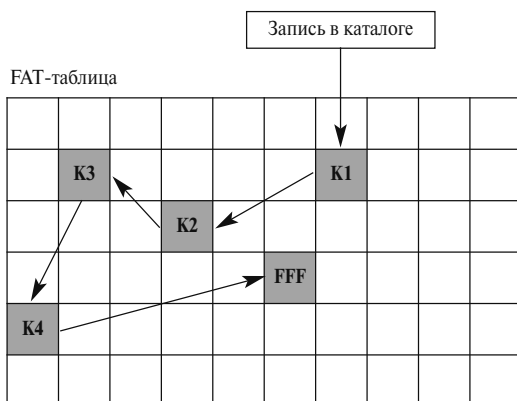


Рис. 1.3. Организация таблицы размещения файлов

На диске хранятся две одинаковые FAT-таблицы: *основная* и *резервная*. Резервная таблица позволяет восстановить основную таблицу в случае ее повреждения.

**Основные средства хранения информации.** Можно выделить два вида средств хранения информации:

⇒ для хранения *небольших объемов* информации, предназначенной для оперативных целей, используется *основная* память в виде оперативного и постоянного запоминающих устройств (ОЗУ, ПЗУ), а также регистровая память;



⇒ для длительного хранения *больших объемов* информации используются ленточные, дисковые и другие виды накопителей.

С точки зрения размещения памяти исторически сложилось деление памяти на *внутреннюю* память, которая раньше располагалась в процессорном блоке, и *внешнюю* память, размещаемую вне блока. Раньше внутренняя память представляла собой электронные и магнитные (на ферритовых сердечниках) устройства, внешняя — отдельные устройства с подвижными носителями (на магнитных барабанах). В настоящее время большинство устройств памяти (а в персональных компьютерах практически все устройства) находятся в системном блоке. Однако деление на внутреннюю и внешнюю память сохранилось, при этом:

⇒ *внутренняя* (оперативная и постоянная) память выполняется на микросхемах и является хранилищем программного кода и данных, которые *непосредственно* используются процессором при исполнении программы;

⇒ *внешняя* (обычно дисковая) память используется для хранения файлов, содержимое которых может быть произвольным. Процессор (программа) имеет доступ к содержимому файлов только *опосредованно* — через отображение их (полное или частичное) в некоторой области оперативной памяти, т.е. после предварительной записи в оперативную память. Процессор не может исполнить программный код или обратиться непосредственно к данным на диске.

#### 1.4. Общие принципы функционирования компьютера

**Особенности функционирования микропроцессорных систем.** Работа любой микропроцессорной системы (см. рис. 1.1) во временном аспекте базируется на *принципе дискретности*. Для исполнения одной микрокоманды выделяется квант времени (временной интервал, такт). Рассмотрим последовательность исполнения отдельной микрокоманды:

⇒ *в начальный момент времени* микропроцессорная система находится в состоянии  $A = \{a_i\}$ , где  $a_i$  — состояния отдельных устройств системы, которые хранит память в виде определенной совокупности дискретных сигналов (0 и 1);  $i = 1, \dots, I$ ;

⇒ *поступившая на вход системы микрокоманда* в виде совокупности сигналов  $\{X_m\}$ , или  $M$ -разрядного входного кода  $X_M \dots X_m \dots X_1$ , переводит систему в другое состояние —  $B = \{b_j\}$ , где  $b_j$  — состояния отдельных устройств системы;  $j = 1, \dots, J$ ;

⇒ *новое состояние* микропроцессорной системы  $B$  запоминает и хранит память;

⇒ по завершении выполнения всей предписанной последовательности микрокоманд из памяти считывается требуемая совокупность хранящихся сигналов в виде  $N$ -разрядного выходного кода  $Y_N \dots Y_1$ . Выходные сигналы подаются на исполнительное устройство.

Упорядоченная во времени совокупность микрокоманд образует команду, или инструкцию, а совокупность команд и данных — программу. В процессе выполнения программы микропроцессорная система может работать в различных режимах. Поэтому представляет интерес рассмотреть в общих чертах некоторые режимы работы микропроцессорной системы и принципы их реализации.

**Выполнение команды.** Время, затрачиваемое на выполнение команды, называется *командным циклом*. Командный цикл разбивается на машинные циклы. *Машинным циклом* называется промежуток времени между двумя последовательными обращениями процессора к ОЗУ или внешнему устройству по системной шине. Длительность машинного цикла может составлять 3...5 и более *системных тактов* (периодов синхросигналов шины), которые требуются для установки нужного адреса; выдачи сигналов, определяющих вид цикла (чтение/запись); получения сигнала готовности к обмену (от памяти или внешнего устройств) и собственно передачи данных или команд.

Код команды представляет собой многоразрядное двоичное число, в котором можно выделить две части:

⇒ *код операции*, задающий вид операции, выполняемой данной командой;

⇒ *код адресации операндов*, задающий адреса источников операндов, над которыми производится заданная операция, и адреса приемников для операнда—результата операции.

Коды команд хранятся в оперативном запоминающем устройстве.

Рассмотрим процесс выполнения команды, который можно разбить на отдельные этапы:

⇒ в начале первого машинного цикла по адресу, который задается содержимым программного счетчика РС (Program Counter), из ОЗУ считывается код подлежащей выполнению команды. Код команды поступает в регистр команд микропроцессора, входящий в состав его устройства управления (рис. 1.1);

⇒ при *дешифрации кода* команды (кода операции и кода адресации операндов) определяется:

- вид выполняемой операции и адреса необходимых операндов;
- необходимое число машинных циклов для выполнения команды.

Если для выполнения команды не требуется считывания операндов из памяти (внешних устройств) или запись в память (вывод на внешние устройства) результатов операции, то такая команда выполняется за один цикл. В противном случае требуется выполнение дополнительных циклов чтения (ввода) или записи (вывода). В зависимости от разрядности обрабатываемых операндов и разрядности используемой системной шины число циклов, необходимых для выполнения команд, может составлять от 1 до 10...15;

⇒ после считывания кода текущей команды содержимое программного счетчика РС автоматически *увеличивается на 1* и более (при условных переходах). Тем самым обеспечивается последовательная выборка команд в процессе выполнения программы. При выборке очередной команды содержимое РС поступает на шину адреса, обеспечивая считывание из ОЗУ следующей команды выполняемой программы. При реализации безусловных или условных переходов (ветвлений) или других изменений последовательности выполнения команд происходит загрузка в программный счетчик нового содержимого, в результате чего осуществляется переход к другой ветви программы;

⇒ в соответствии с выполняемой операцией устройство управления *формирует* необходимые сигналы для реализации машинных циклов и требуемую последовательность микрокоманд в каждом цикле.

## Глава 2. АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА

### 2.1. Состав компьютера

В персональном компьютере различают три составные части: ⇒ *системный блок*, который является центральным блоком компьютера, определяющим его основные характеристики. Системные блоки имеют различные конструктивные исполнения и состав устройств. Однако любой системный блок содержит ряд обязательных компонентов и устройств, среди которых следует выделить:

- системную плату, на которой располагаются центральный процессор, устройства основной памяти, системный таймер, карты расширения и свободные слоты для подключения дополнительных карт и др.;