

---

---

# БАКАЛАВР

---

---





О. П. Новожилов

# АРХИТЕКТУРА ЭВМ И СИСТЕМ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ  
ДЛЯ АКАДЕМИЧЕСКОГО БАКАЛАВРИАТА

*Рекомендовано Учебно–методическим отделом  
высшего образования в качестве учебного пособия  
для студентов высших учебных заведений, обучающихся  
по инженерно–техническим направлениям и специальностям*

*Допущено Учебно–методическим объединением вузов  
по университетскому политехническому образованию  
в качестве учебного пособия для студентов высших  
учебных заведений, обучающихся по направлению  
230100 «Информатика и вычислительная техника»*

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

**Москва ■ Юрайт ■ 2017**

УДК 681.3  
ББК 32.973я73  
Н74

**Автор:**

**Новожилов Олег Петрович** — доктор технических наук, профессор кафедры информационной безопасности Института информационных технологий и управления в технических системах Московского государственного индустриального университета.

**Рецензенты:**

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

*Кузовкин В. А.* — доктор технических наук, профессор кафедры электротехники, электроники 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 (технический университет).

**Новожилов, О. П.**

Н74

Архитектура ЭВМ и систем : учеб. пособие для академического бакалавриата / О. П. Новожилов. — М. : Издательство Юрайт, 2017. — 527 с. — Серия : Бакалавр. Академический курс.

ISBN 978-5-534-02626-9

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.

Соответствует актуальным требованиям Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования.

*Материал излагается с учетом двухступенчатой подготовки специалистов (бакалавр — магистр) и может быть полезен аспирантам и преподавателям других специальностей.*

УДК 681.3  
ББК 32.973я73



*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 978-5-534-02626-9

© Новожилов О. П., 2012  
© ООО «Издательство Юрайт», 2017

# Предисловие

Учебное пособие написано в соответствии с программой ОПД.Ф.07 «Организация ЭВМ и систем» по направлению подготовки дипломированного специалиста 230100 (654600) «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 комплекующих 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  $\bar{X}$  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:

**знать:**

составные части, общие принципы организации и функционирования компьютерных систем;

архитектуру процессоров и микропроцессорных систем;

основную память и периферийные устройства;

основные типы компьютеров параллельного действия;

**уметь:**

проводить анализ архитектуры и структуры ЭВМ и систем;

оценивать эффективность архитектурно-технических решений, реализованных при построении ЭВМ и систем;

**владеть:**

терминологией, навыками работы с технической документацией и методиками оценки показателей качества и эффективности ЭВМ и систем.

## 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, опрометчиво) 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.

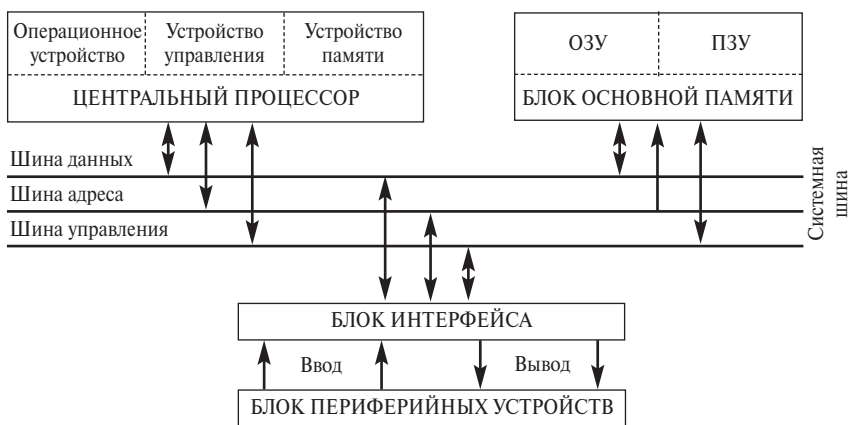


Рис. 1.1. Структурно-функциональная организация компьютера

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.** П е р и ф е р и й н ы м и, 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 PC-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.*

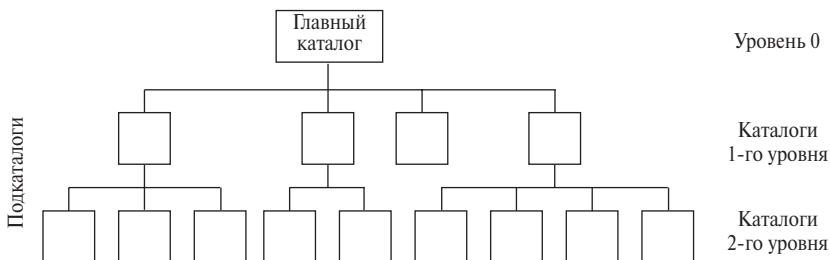


Рис. 1.2. Организация каталогов

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 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 K1. Поэтому при организации доступа к файлу сначала обращаются к ячейке FAT-таблицы, номер которой указан в записи каталога. В ячейке с номером первого кластера K1 файла хранится номер второго кластера K2, в ячейке с номером второго кластера K2 файла хранится номер третьего кластера K3 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.

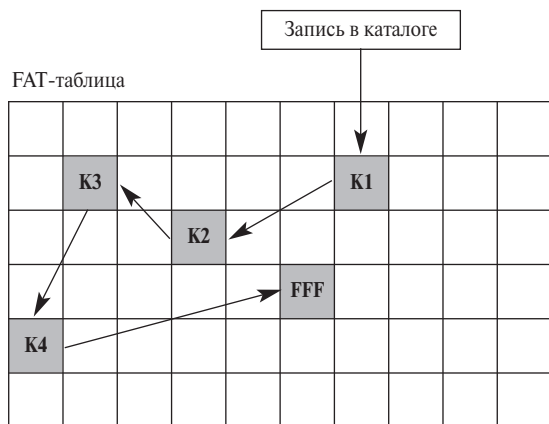


Рис. 1.3. Организация таблицы размещения файлов

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 внешних 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.;

- устройства дисковой памяти;
  - набор разъемов для подключения внешних устройств;
  - блок питания с вентилятором и т.д.;
- ⇒ *устройства ввода* для ввода подлежащей обработке информации и управления компьютером. В минимальной конфигурации компьютера устройствами ввода служат *клавиатура* и *манипулятор мышь*;
- ⇒ *устройства вывода* для вывода, регистрации и фиксации результатов обработки. Основным устройством вывода является *монитор*, или дисплей.

## 2.2. Общие сведения о микропроцессорах

**Основные понятия.** Микропроцессор — это программно-управляемое устройство в виде интегральной микросхемы (БИС или СБИС), предназначенное для обработки цифровой информации. Микропроцессор является универсальным устройством и помимо компьютеров находит широкое применение в цифровых системах различного назначения. Это могут быть системы управления объектами и процессами, информационно-измерительные системы и другие виды систем, используемых в промышленности, бытовой технике, связи и многих других областях и сферах человеческой деятельности.

Структура процессора есть совокупность его элементов, узлов, блоков, модулей, а также связей между ними, которая определяет *аппаратную организацию процессора*, т.е. состав и взаимодействие аппаратных средств, размещенных в микросхеме процессора. В структуру входят:

- ⇒ *центральный процессор*, или процессорное *ядро*, состоящее из одного или нескольких операционных устройств и устройства управления;
- ⇒ *внутренняя память* в виде регистров, кэш-памяти, модулей оперативной и постоянной памяти;
- ⇒ *интерфейсный блок*, обеспечивающий выход на системную шину и обмен данными с внешними устройствами через параллельные или последовательные порты ввода-вывода;
- ⇒ *периферийные устройства* (специализированные контроллеры, аналого-цифровые преобразователи, таймерные модули);
- ⇒ *различные вспомогательные схемы* (например, генератор тактовых импульсов).

Состав компонентов, входящих в структуру микропроцессора, и реализуемые механизмы их взаимодействия определяются функциональным назначением и областью применения микропроцессора.

Архитектура процессора представляет собой совокупность его аппаратных и программных средств, обеспечивающих обработку цифровой информации (выполнение программы). Это более общее понятие по сравнению с понятием «структура» определяет *логическую организацию микропроцессора* и компьютера в целом. Архитектура процессора включает в себя набор программно-доступных регистров и операционных устройств, систему основных команд и способов адресации, объем и организацию адресуемой памяти, виды и способы обработки данных (обмен, прерывания, прямой доступ к памяти и др.). Например, современные 32-разрядные процессоры x86 с архитектурой IA-32 (Intel Architecture — 32 bit) имеют стандартный набор регистров, общую систему основных команд, одинаковые способы организации и адресации памяти, защиты памяти и обслуживания прерываний. Часто архитектуру процессора отождествляют с архитектурой компьютера (например, CISC, RISC — см. ниже).

**Регистровая модель микропроцессора.** При составлении программ весьма важно знать, какие из регистров микропроцессора являются программно-доступными регистрами, в которых можно хранить подлежащие обработке данные (операнды) и управляющие сигналы (команды). Совокупность программно-доступных регистров образует *регистровую модель* микропроцессора.

В регистровой модели можно выделить две группы регистров: ⇒ *регистры общего назначения* (РОН), предназначенные для хранения операндов (в том числе адресных кодов). Эта группа регистров образует внутреннюю память микропроцессора;

⇒ *служебные регистры*, предназначенные для управления исполняемой программой, обеспечения требуемого режима работы процессора, организации обращения к памяти и выполнения других функций. Состав и количество служебных регистров определяются архитектурой микропроцессора. К основным служебным регистрам относятся следующие:

- программный счетчик PC (Program Counter), или указатель команд IP (Instruction Pointer);
- регистр состояния SR (Status Register), или флагов (EFLAGS);
- регистры управления режимом работы процессора CR (Control Register);
- регистры, реализующие сегментную и страничную организацию памяти;
- регистры, обеспечивающие отладку программ и тестирование процессора.

Кроме того, различные модели микропроцессоров содержат ряд других специализированных регистров.

Функционирование процессора можно представить как процедуры изменения состояния регистров (регистровые пересылки) путем чтения/записи их содержимого. В результате таких пересылок обеспечивается адресация и выборка команд и операндов из основной памяти, хранение и пересылка результатов, изменение последовательности команд и режимов функционирования процессора в соответствии с поступлением нового содержимого в служебные регистры, а также все другие процедуры, реализующие процесс обработки информации согласно заданным условиям.

**Основные классификационные признаки архитектур.** По форматам используемых команд (инструкций) можно выделить:

- ⇒ *CISC-архитектуру*, которая относится к компьютерам *с набором сложных команд* (Complex Instruction Set Computer). Она реализована во многих типах микропроцессоров (например, Pentium), выполняющих большой набор разноформатных команд с использованием многочисленных способов адресации. Система команд процессоров с CISC-архитектурой может содержать более 200 команд разной степени сложности (от 1 до 15 байт) и использовать десятки различных способов адресации, что позволяет программисту реализовать наиболее эффективные алгоритмы решения различных задач. *Недостаток* CISC-архитектуры — дальнейшее ее развитие связано с существенным усложнением структуры микропроцессора, повышением его стоимости и увеличением временных затрат на исполнение программы;
- ⇒ *RISC-архитектуру*, которая относится к компьютерам *с сокращенным набором команд* (Reduced Instruction Set Computer). Появление RISC-архитектуры продиктовано тем, что многие CISC-команды и способы адресации используются достаточно редко. Современные RISC-процессоры реализуют около 100 команд, имеющих фиксированный формат длиной 4 байта, и используют небольшое число наиболее простых способов адресации (регистровую, индексную и некоторые другие). Для сокращения количества обращений к внешней оперативной памяти RISC-процессоры содержат десятки—сотни регистров общего назначения (РОН), тогда как в CISC-процессорах имеется всего 8—16 регистров. Обращение к внешней памяти в RISC-процессорах используется только в операциях загрузки данных в РОН или пересылки результатов из РОН в память. В результате существенно упрощается структура микропроцессора,

сокращаются его размеры и стоимость, значительно повышается производительность. Благодаря указанным достоинствам во многих современных CISC-процессорах (последние модели Pentium и K7) используется RISC-ядро. При этом сложные CISC-команды предварительно преобразуются в последовательность простых RISC-операций и быстро выполняются RISC-ядром;

⇒ *VLIW-архитектуру*, которая относится к микропроцессорам с использованием очень длинных команд (Very Large Instruction Word). Отдельные поля команды содержат коды, обеспечивающие выполнение различных операций. Одна *VLIW*-команда может выполнить сразу несколько операций одновременно в различных узлах микропроцессора. Формирование «длинных» *VLIW*-команд производит соответствующий компилятор при трансляции программ, написанных на языке высокого уровня. *VLIW*-архитектура реализована в некоторых типах современных микропроцессоров и является весьма перспективной для создания нового поколения сверхвысокопроизводительных процессоров.

По способу организации выборки команд и данных различается два вида архитектур:

⇒ *принстонская архитектура*, или архитектура Фон Неймана, особенностью которой является использование:

- *общей оперативной памяти* для хранения программ, данных и организации стека, что позволяет оперативно и эффективно перераспределять ее объем в зависимости от решаемых задач в каждом конкретном случае применения микропроцессора;
- *общей системной шины*, по которой в процессор поступают команды и данные, а в оперативную память записываются результаты, что значительно упрощает отладку, тестирование и текущий контроль функционирования системы, повышает ее надежность. Однако использование общей шины для передачи команд и данных ограничивает производительность цифровой системы;

⇒ *гарвардская архитектура*, особенностью которой является физическое разделение памяти на память команд (программ) и память данных. Это обстоятельство вызвано постоянно возрастающими требованиями к производительности микропроцессорных систем. Память команд и память данных соединяются с процессором отдельными шинами. Благодаря разделению потоков команд и данных, а также совмещению операций их выборки (и записи результатов обработки) обеспечивается более высокая производительность, чем при использовании принстонской архитектуры.

*Недостатки* гарвардской архитектуры: *усложнение конструкции* из-за использования отдельных шин для команд и данных; *фиксированный объем* памяти для команд и данных; *увеличение общего объема памяти* из-за невозможности ее оптимального перераспределения между командами и данными.

Гарвардская архитектура получила широкое применение в микроконтроллерах — специализированных микропроцессорах для управления различными объектами, а также во внутренней структуре современных высокопроизводительных микропроцессоров — в кэш-памяти с раздельным хранением команд и данных. В то же время во внешней структуре большинства микропроцессорных систем реализуются принципы принстонской архитектуры.

Отметим, что архитектура микропроцессора тесно связана с его структурой. Реализация тех или иных архитектурных особенностей требует введения в структуру микропроцессора соответствующих устройств и обеспечения механизмов их совместного функционирования.

**О путях развития микропроцессорной техники.** При разработке новых микропроцессоров преследуют цель повышения их производительности и расширения функциональных возможностей. Эта цель достигается двумя путями:

- ⇒ *развитием микрoeлектронной технологии*, используемой для производства микропроцессоров;
- ⇒ *применением новых архитектурных и структурных решений* в создаваемых микропроцессорах.

Магистральным направлением развития микрoeлектронной технологии является повышение степени интеграции микросхем путем уменьшения размеров полупроводниковых компонентов (транзисторов), размещаемых на кристалле микропроцессора. В соответствии с известным законом (который действует уже в течение 40 лет) Г. Мура, одного из основателей компании Intel, степень интеграции микросхем удваивается каждые 1,5—2 года. В настоящее время уровень развития технологии изготовления микросхем позволяет создать транзисторы с минимальными размерами 0,09—0,18 мкм. С уменьшением размеров транзисторов повышается скорость их переключения (так как уменьшаются паразитные емкости) и растет их количество на кристалле. Тактовая частота современных процессоров составляет 1—2 ГГц и более, а количество транзисторов на кристалле — десятки и сотни миллионов. Увеличение количества транзисторов на кристалле создает возможность реализации новых, более сложных архитектурных и структурных решений.



К основным направлениям новых архитектурных и структурных решений, нацеленных на повышение производительности микропроцессоров, следует отнести использование:

- ⇒ *конвейерного принципа выполнения команд*;
- ⇒ *суперскалярной структуры процессора*.

**Конвейерный принцип выполнения команд.** В соответствии с этим принципом процесс выполнения команды разбивается на ряд этапов. Рассмотрим его особенности на конкретном примере при следующих условиях [9]:

⇒ команда разбивается на *шесть* этапов:

- 1) выборка очередной команды (ВК);
- 2) декодирование выбранной команды (ДК);
- 3) формирование адреса операнда (ФА);
- 4) прием операнда из памяти (ПО);
- 5) выполнение операции (ВО);
- 6) размещение результата в памяти (РР);

⇒ выполнение каждого этапа занимает один такт машинного времени;

⇒ каждый из этапов соответствует выполнению одной микрооперации;

⇒ для каждой микрооперации используется отдельное устройство, или ступень исполнительного конвейера;

⇒ выполнение микрооперации (включая загрузку в конвейер очередной команды) возможно только в случае готовности (незанятости) ступени исполнительного конвейера;

⇒ для каждой команды должна соблюдаться очередность выполнения ее отдельных этапов, или микроопераций.

В конвейере одновременно может находиться несколько (для рассматриваемого примера три) команд на разных этапах их выполнения. В идеальном варианте при полной загрузке конвейера однотипными командами на его выход в каждом такте будет поступать результат выполнения очередной команды (рис. 2.1, *а, б*). В этом случае производительность процессора (операций/с) будет равна его тактовой частоте (тактов/с).

Однако в реальных условиях отдельные ступени конвейера могут оказаться:

⇒ в *состоянии ожидания (ОЖ)*, когда ступень не может выполнить требуемую микрооперацию из-за отсутствия необходимых данных.

Например, не получен необходимый операнд, являющийся результатом выполнения предыдущей команды;

⇒ в *состоянии простоя (ПР)*, когда ступень вынуждена пропустить очередной такт, так как поступившая команда не требует выполне-

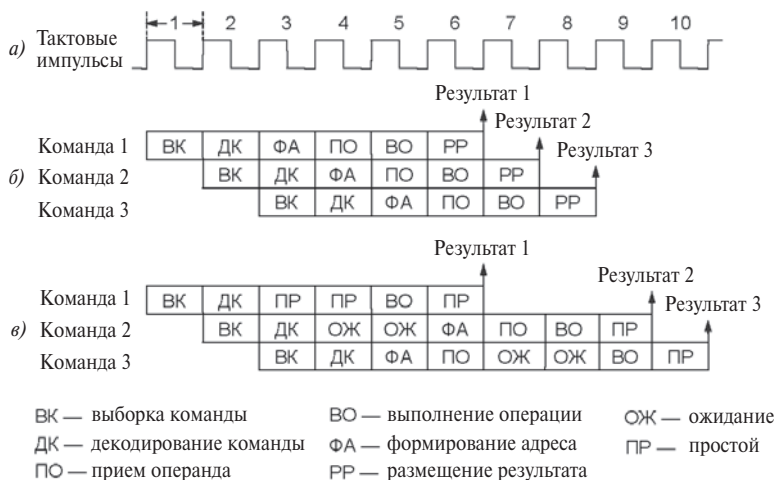


Рис. 2.1. Конвейерный принцип выполнения команд

ния соответствующего этапа. Например, безадресные команды не требуют выполнения этапов формирования адреса (ФА) и приема операнда (ПО), поэтому ступени ФА и ПО конвейера будут находиться в состоянии простоя.

На рис. 2.1, в показан пример работы 6-ступенчатого конвейера для случая, когда при выполнении фрагмента реальной программы отдельные ступени оказываются в состоянии ожидания (ОЖ) или простоя (ПР).

Команда 1 инкрементации INC R2 (увеличивает содержимое регистра R2 на 1) не требует выборки операндов из памяти и размещения в ней результата. Поэтому при ее выполнении исполнительные ступени конвейера, выполняющие микрооперации ФА, ПО, РР, находятся в состоянии простоя (ПР).

Команда 2 означает пересылку содержимого ячейки памяти, адресуемой содержимым регистра R2, в регистр R3 — MOV (R2), R3. При ее выполнении реализуются состояния ожидания, пока в регистре R2 не будет получен результат предыдущей операции.

Команда 3. Такты ожидания вводятся также при выполнении команды сложения ADD R3 (R4) до получения необходимого значения операнда в регистре R3.

Тактовая частота современных высокопроизводительных процессоров достигает нескольких гигагерц, и на выполнение одной микро-

операции отводится время менее одной наносекунды. Поэтому процедура выполнения команд разбивается на более мелкие этапы и число ступеней конвейера увеличивается до 10 и более. Например, в микропроцессорах Pentium 4 используется 20-ступенчатый конвейер.

Эффективность использования конвейера определяется типом поступающих команд:

⇒ *однородные команды* сокращают число состояний простоя и ожидания в процессе их выполнения, в результате чего повышается производительность процессора;

⇒ *разноформатные команды*, содержащие различное количество байтов, имеют большое количество состояний простоя и ожидания. Поэтому принятый во многих RISC-процессорах стандартный 4-байтный формат команд обеспечивает существенное сокращение числа ожиданий и простоев конвейера, что позволяет значительно повысить производительность.

На эффективность использования конвейера влияют также команды ветвления (условных переходов). При выполнении условия ветвления необходимо перезагружать конвейер командами из другой ветви программы, что ведет к значительному снижению производительности процессора. Для сокращения числа перезагрузок конвейера используются различные способы предсказания ветвлений (Branch Prediction), реализуемых с помощью *блоков предсказания ветвления*, вводимых в структуру процессора.

Один из способов предсказания базируется на предположении, что при повторном обращении к команде условие ветвления сохраняется. Для реализации этого способа используется специальная память ВТВ (Branch Target Buffer — буфер флагов ветвлений), где хранятся адреса ранее выполненных условных переходов. При повторном поступлении команды ветвления предсказывается переход к ветви, которая была выбрана в предыдущем случае, и производится загрузка в конвейер команд из той же ветви. При правильном предсказании не требуется перезагрузка конвейера и эффективность его использования не снижается. Эффективность такого способа предсказания зависит от емкости ВТВ и оказывается достаточно высокой: вероятность правильного предсказания составляет 80% и более.

Повышение точности предсказания достигается при использовании более сложных способов, когда хранятся и анализируются результаты нескольких предыдущих команд ветвления по данному адресу (*предыстория переходов*).

**Суперскалярные процессоры.** Процессор, составленный из нескольких операционных устройств, обеспечивающих одновременное выполнение команд в исполнительных конвейерах, называется *суперскалярным процессором*. Каждый конвейер обрабатывает одну из поступивших команд. В идеальном случае число одновременно выполняемых команд (работающих конвейеров) равно числу операционных устройств. Однако при выполнении реальных программ трудно обеспечить полную загрузку всех исполнительных конвейеров. Современные суперскалярные процессоры содержат от 4 до 10 различных операционных устройств, параллельная работа которых обеспечивает выполнение за один такт в среднем от 2 до 6 команд.

В суперскалярных процессорах производится выборка нескольких десятков команд, которые декодируются, анализируются и группируются для одновременной (параллельной) загрузки в исполнительные конвейеры. Обычно в процессорах имеется:

- ⇒ несколько устройств для выполнения *целочисленных операций*;
- ⇒ одно или несколько устройств для обработки *чисел с плавающей точкой*;
- ⇒ отдельные устройства для обработки *специальных форматов видео- и аудиоданных*;
- ⇒ устройства *формирования адресов и выборки операндов* для загружаемых команд.

Для повышения эффективности работы суперскалярных процессоров принимается ряд мер, в частности:

- ⇒ *организуется предварительная* (спекулятивная) *выборка данных*, которые записываются в специальные регистры. Эта мера позволяет заранее подготовить операнды для поступающих на исполнение команд;
- ⇒ *изменяется порядок следования команд*. Команды выполняются не в порядке их выборки из памяти, а по мере готовности необходимых операндов и исполнительных устройств. Позже поступившие команды могут быть выполнены ранее выбранных из памяти команд. Эта мера служит для обеспечения более полной загрузки исполнительных конвейеров. Для выдачи результатов в соответствии с исходной последовательностью поступления команд используется специальная буферная память;
- ⇒ *вводятся дополнительные регистровые блоки*, дублирующие регистры процессора. Эта мера позволяет реализовать одновременное обращение двух и более команд к одному регистру. При поступлении команд, которые обращаются к одному и тому же регистру, производится их переадресация к дублирующему регистровому блоку путем переименования регистров. В результате

обеспечивается возможность одновременного выполнения команд обращения к одному и тому же регистру, что позволяет реализовать более эффективную параллельную работу исполнительных конвейеров.

**Основные классы микропроцессоров.** По функциональному признаку выделяют два класса микропроцессоров:

- ⇒ *универсальные* микропроцессоры, или микропроцессоры *общего назначения*;
- ⇒ *специализированные* микропроцессоры, среди которых наиболее широкое распространение получили *микроконтроллеры* и *цифровые сигнальные процессоры* (Digital Signal Processor — DSP).

**Микропроцессоры общего назначения.** Этот класс процессоров предназначен для решения широкого круга задач обработки разнообразной информации и находит применение в персональных компьютерах, рабочих станциях, серверах и других цифровых системах массового применения. Обычно это 32-разрядные микропроцессоры (хотя некоторые микропроцессоры данного класса имеют 64-разрядную или 128-разрядную структуру), которые изготавливаются по самой современной промышленной технологии, обеспечивающей максимальную частоту функционирования.

Некоторые типы микропроцессоров этого класса относят к CISC-процессорам, поскольку используют набор разноформатных команд с различными способами адресации. В их внутренней структуре может содержаться RISC-ядро, выполняющее преобразование поступивших команд в последовательность простых RISC-операций. Другие типы микропроцессоров этого класса непосредственно реализуют RISC-архитектуру. В ряде последних разработок (Itanium PA8500) успешно используются принципы VLIW-архитектуры.

Практически все современные универсальные микропроцессоры, как отмечалось выше, используют гарвардскую архитектуру с разделением потоков команд и данных при помощи отдельных блоков кэш-памяти. В большинстве случаев они имеют суперскалярную структуру с несколькими исполнительными конвейерами (до 10 в современных моделях), каждый из которых содержит до 20 ступеней.

**Микроконтроллеры.** Этот класс специализированных микропроцессоров ориентирован на реализацию устройств управления, встраиваемых в разнообразную (в том числе и в бытовую) аппаратуру, и рассмотрен автором в другой работе [12]. Номенклатура выпускаемых микроконтроллеров исчисляется несколькими тысячами типов, а общий годовой объем их выпуска составляет миллиарды экземпляров.

Особенностью микроконтроллеров является размещение на одном кристалле, помимо центрального процессора, внутренней памяти и большого набора периферийных устройств. В состав периферийных устройств обычно входят от одного до восьми 8-разрядных параллельных портов ввода-вывода данных, один или два последовательных порта, таймерный блок, аналого-цифровой преобразователь, а также такие специализированные устройства, как блок формирования сигналов с широтно-импульсной модуляцией, контроллер жидкокристаллического дисплея и ряд других. Благодаря использованию внутренней памяти и периферийных устройств реализуемые на базе микроконтроллеров системы управления содержат минимальное количество дополнительных компонентов.

Для удовлетворения запросов потребителей выпускается большая номенклатура микроконтроллеров, которые принято подразделять на 8-, 16- и 32-разрядные. Основными областями их применения являются промышленная автоматика, автомобильная электроника, измерительная техника, теле-, видео- и аудиотехника, средства связи, бытовая аппаратура. Для микроконтроллеров характерна гарвардская архитектура, что подразумевает наличие

⇒ отдельной внутренней памяти *для хранения программ*, в качестве которой используются однократно программируемое ПЗУ (PROM) или электрически репрограммируемое ПЗУ (EPROM, EEPROM или Flash);

⇒ отдельной внутренней памяти *для хранения данных*, в качестве которой используется регистровый блок, организованный в виде нескольких регистровых банков, или ОЗУ.

В случае необходимости имеется возможность дополнительно подключать внешнюю память команд и данных объемов.

Для повышения производительности во многих моделях микроконтроллеров реализованы принципы RISC-архитектуры, обеспечивающие выполнение большинства команд за один такт машинного времени.

**Цифровые сигнальные процессоры.** Этот класс специализированных микропроцессоров предназначен для цифровой обработки поступающих аналоговых сигналов в реальном времени и подробно рассмотрен в упомянутой выше работе [12]. Архитектура цифровых сигнальных процессоров (ЦСП) ориентирована на быстрое выполнение последовательности операций умножения-сложения с накоплением промежуточного результата в регистре-аккумуляторе, что обусловлено особенностью алгоритмов обработки аналоговых сигналов. Поэтому набор команд этих процессоров содержит специ-

альные команды MAC (Multiplication with Accumulation — умножение с накоплением), реализующие эти операции.

Значение оцифрованного аналогового сигнала может быть представлено в виде числа с *фиксированной* или с *плавающей* точкой. В соответствии с этим ЦСП делятся на два класса:

⇒ процессоры, обрабатывающие числа с *фиксированной* точкой.

К этому классу относятся более простые и дешевые ЦСП — их обычно обрабатывают 16- или 24-разрядные операнды, представленные в виде правильной дроби. Однако ограниченная разрядность в ряде случаев не позволяет обеспечить необходимую точность результатов;

⇒ процессоры, обрабатывающие числа с *плавающей* точкой. Процессоры этого класса проводят вычисления над 32- и 40-разрядными операндами и обеспечивают более высокую точность результатов.

Для повышения производительности при выполнении специфических операций обработки сигналов в большинстве ЦСП реализуется гарвардская архитектура с использованием отдельных шин для передачи адресов, команд и данных. В ряде ЦСП нашли применение также некоторые черты VLIW-архитектуры, для которой характерно совмещение в одной команде нескольких операций. Такое совмещение обеспечивает обработку имеющихся данных и одновременную загрузку в исполнительный конвейер новых данных для последующей обработки.

### 2.3. Интерфейсные устройства

Интерфейсные средства предназначены для сопряжения функциональных узлов и устройств компьютера. К ним относятся шины, конструктивные компоненты, микросхемная логика, средства сопряжения аналоговых и цифровых устройств.

**Обзор шинного интерфейса.** Существует определенная иерархия компьютерных шин. Это выражается в том, что каждая более медленная шина соединена с более быстрой. Современные компьютерные системы включают три, четыре или более шин. Каждое системное устройство соединено с какой-либо шиной, причем определенные устройства (чаще всего это наборы микросхем) выполняют функции *моста* между шинами.

Дадим краткий обзор шин в порядке их появления в компьютерной технике.

**Шина ISA.** Родоначальником в семействе шин ISA (Industry Standard Architecture — промышленная стандартная архитектура) была 8-разрядная шина (8 Bit ISA Bus), которая использовалась в компьютерах класса XT. Затем появилась 16-разрядная шина, имеющая полную совместимость со своей предшественницей. Она содержала линии для дополнительных адресов ввода-вывода, прерываний и каналов прямого доступа к памяти. Шина ISA считается самой старой в семействе шин, однако она до сих пор используется, поскольку ее быстроедействие удовлетворяет таким наиболее распространенным периферийным устройствам, как мышь, клавиатура, модемы, флоппи-диски, ручные сканеры и т.п.

Последовательность передачи байта данных по шине ISA следующая:  
⇒ на адресной шине *выставляется адрес ячейки* оперативной памяти RAM или порта устройства ввода-вывода, куда следует передать байт;

⇒ на линии данных *выставляется байт данных*;

⇒ по одной из линий шины управления *передается сигнал записи* WR (строб записи). Причем проверка записи (успели записаться данные или нет) не производится, так как тактовая частота шины ISA выбрана равной 8,33 МГц, чтобы даже самые медленные устройства гарантированно успевали производить по шине обмен данными (командами).

В спецификациях PC 98 и PC 99, разработанных корпорацией Intel совместно с Microsoft, предусматривается постепенная замена шины ISA на современные последовательные шины USB (для подключения дисководов, мыши, клавиатуры, сканера и т.д.) и IEEE 1394 (для подключения винчестеров, приводов CD-ROM и DVD-ROM, видеокамер и т.д.).

Появление шин других стандартов продиктовано требованием повышения быстродействия.

**Шина MCA.** Отличительной особенностью шины MCA (MicroChannel — микроканал) явилась повышенная пропускная способность (до 20 Мбайт/с) за счет увеличения тактовой частоты до 10 МГц и разрядности до 32 бит. Шина MCA — *интеллектуальная шина*, не требующая ручного конфигурирования (с помощью DIP-переключателей или джамперов) внешних устройств, установленных в ее слоты расширения. Однако архитектура MicroChannel не получила широкого распространения из-за полной несовместимости с шиной ISA.

**Шина EISA.** Необходимость повышения производительности системы наряду с обеспечением совместимости ее компонентов привела к дальнейшему развитию шины ISA. Под руководством ведущих



изготовителей аппаратного обеспечения (Epson, Hewlett-Packard, NEC, Compaq и Wyse) появилась расширенная (Extended) версия шины ISA — EISA. Ее *достоинства*:

- ⇒ шина EISA является 32-разрядной, что расширило возможности использования соответствующих карт (сетевых, графических, жесткого диска и др.). Хотя шина работает с частотой 8,33 МГц, повышение ее разрядности до 32 бит дает максимальную скорость передачи данных 33 Мбайт/с;
- ⇒ шина EISA является интеллектуальной шиной с программной конфигурацией карт расширения;
- ⇒ слот EISA полностью совместим со слотом ISA.

Шина применялась для подключения контроллеров дисков и адаптеров локальных сетей в серверах (компьютерах, обладающих большим объемом памяти и высокой производительностью). На системной плате устанавливалось до 6...8 слотов EISA. Из-за высокой стоимости и отсутствия в достаточном количестве карт расширения EISA шина EISA не получила широкого распространения.

**Ш и н а V E S A.** Локальная шина VESA (Video Electronics Standard Association), или VLB (VESA Local Bus), была разработана для связи процессора с быстрыми периферийными устройствами. Необходимость создания VLB вызвана тем, что передача видеоданных по шине ISA происходит слишком медленно. Поэтому шина VLB представляет собой расширение шины ISA для обмена видеоданными с процессором. Обмен осуществляется под управлением контроллеров, расположенных на картах. Карты устанавливаются в слот VLB напрямую, в обход стандартной шины ввода-вывода. Шина VLB является 32-разрядной и работает на тактовой частоте процессора. Передача данных по этой шине невозможна без использования линий шины ISA, по которым передаются сигналы адресов и управления. Шину VLB полностью вытеснила более производительная шина PCI.

**Ш и н а P C I.** Шина PCI (Peripheral Component Interconnect — соединение периферийных компонентов) разработана фирмой Intel для своего нового высокопроизводительного процессора Pentium. Она представляет собой совершенно новую шину.

Тактовая частота шины PCI задается как половина тактовой частоты системной шины, т.е. при тактовой частоте системной шины 66 МГц шина PCI работает на частоте 33 МГц.

Основопологающим принципом, положенным в основу шины PCI, является применение так называемых *мостов* (Bridges), которые осуществляют связь между шиной PCI и другими шинами. Важной особенностью шины PCI выступает способность внешнего устройст-

ва при пересылке данных самостоятельно управлять шиной без участия процессора, т.е. в ней реализован принцип, названный *Bus Mastering* (овладение шиной). Устройство, поддерживающее *Bus Mastering*, «захватывает» шину и становится главным. При таком подходе центральный процессор освобождается для выполнения других задач, пока происходит передача данных.

Основные особенности шины PCI:

- ⇒ в шине PCI используется способ передачи данных, называемый способом рукопожатия. Он заключается в том, что в системе определяются два устройства: *передающее* (Initiator — инициатор) и *приемное* (Target — цель). Передающее устройство выставляет данные на линии данных и сопровождает их сигналом *готовности* (Indicator Ready). Приемное устройство записывает данные в свои регистры и подает сигнал *подтверждения* (Target Ready), свидетельствующий о произведенной записи данных и готовности к приему следующих. Установка сигналов готовности и подтверждения, а также чтения/записи данных производится строго в соответствии с тактовыми импульсами шины, частота которых равна 33 МГц (частоте сигнала CLK);
- ⇒ в соответствии с концепцией PCI передачей пакета данных управляет не процессор, а включенный между ним и шиной PCI *мост* (Host Bridge Cache / DRAM Controller). Поэтому процессор может продолжать работу и тогда, когда происходит запись (считывание) данных в RAM, а также при обмене данными между двумя любыми компонентами системы;
- ⇒ скорость передачи данных (или полоса пропускания шины) составляет для 32-разрядной шины  $33 \text{ МГц} \times (32 \text{ бит} : 8) = 132 \text{ Мбайт/с}$ ; для 64-разрядной — 264 Мбайт/с;
- ⇒ *универсальна*, или *самодостаточна*, поскольку системная шина и шина PCI соединены с помощью *главного моста* (Host Bridge). Поэтому PCI является самостоятельным устройством и может использоваться независимо от типа процессора;
- ⇒ использует принцип *временного мультиплексирования*, при котором данные и адреса передаются по одним и тем же линиям;
- ⇒ является *интеллектуальной*, т.е. она в состоянии распознавать аппаратные средства и анализировать конфигурации системы в соответствии с технологией Plug and Play (вставляй и играй), разработанной корпорацией Intel.

Существуют шины (и карты расширения) для напряжения питания интерфейсных схем 3,3 и 5 В с частотой 33 (PCI 2.0) и 33/66 МГц (PCI 2.1), разрядностью 32 и 64 бита. Шина *используется* для подклю-

чения устройств сопряжения: дисковых контроллеров, графических, коммуникационных, видео- и других адаптеров. На системной плате может быть установлено 3 или 4 слота PCI.

**Шина (порт) AGP.** Новое поколение графических микросхем работает одновременно с 3-мерной графикой и видео. Одной шины PCI для пересылки графических и видеоданных недостаточно. Для того чтобы ускорить ввод-вывод данных на видеоадаптер, не меняя сложившийся стандарт на шину PCI, и, кроме того, увеличить производительность компьютеров при обработке трехмерных изображений без установки специализированных дорогостоящих двухпроцессорных видеоадаптеров, в 1997 г. фирмой Intel был разработан стандарт на шину AGP (Accelerated Graphics Port — порт ускоренной графики). Шина AGP представляет собой высокоскоростную локальную шину ввода-вывода, предназначенную исключительно для нужд видеосистемы. Шина по сути является *портм*, так как связывает видеоадаптер (3D-акселератор) с системной памятью компьютера с помощью одного разъема (слота) AGP. Поэтому не возникает характерной для шины PCI проблемы арбитража (когда несколько устройств одновременно требуют доступа к шине), что повышает скорость обмена данными между видеоадаптером и системной памятью. Шина AGP разработана на основе архитектуры шины PCI, поэтому она также является 32-разрядной шиной. Вместе с тем у нее имеется ряд важных отличий от шины PCI, позволяющих в несколько раз увеличить пропускную способность:

- ⇒ использование более высоких тактовых частот;
- ⇒ демультиплексирование;
- ⇒ пакетная передача данных;
- ⇒ режим прямого исполнения в системной памяти.

Шина AGP предназначена для видеоадаптера. Она подключается к компоненту North Bridge или Memory Controller Hub (MCH) набора микросхем системной логики.

**Шина SCSI.** Шина SCSI (Small Computer System Interface — интерфейс малых компьютеров) обеспечивает скорость передачи данных до 320 Мбайт/с и предусматривает подключение к одному адаптеру до восьми устройств (винчестеры и приводы CD-ROM SCSI, сканеры, фото- и видеокамеры и др.).

В отличие от рассмотренных выше шин, шина SCSI реализована в виде кабельного шлейфа. С шиной ISA или PCI шина SCSI связывается через *хост-адаптер* (Host Adapter). Каждое устройство, подключенное к шине, имеет свой идентификационный номер (ID). Обычно хост-адаптеру, который должен иметь высший приоритет, назначает-

ся ID7. Типичные назначения ID: ID6, ID1, ID0 — винчестер; ID4 — накопитель или стример; ID3 — CD-ROM; ID2 — сканер, принтер. Любое устройство, подключенное к шине SCSI, может инициировать обмен с другим устройством.

**Ш и н а U S B.** Периферийная последовательная шина USB (Universal Serial Bus — последовательный универсальный порт) предназначена для подключения периферийных устройств (клавиатуры, мыши, принтера и др.) вне корпуса персонального компьютера. Шина USB поддерживает технологию Plug and Play. Как только устройство будет подключено, автоматически осуществляется его конфигурирование. Скорость обмена информацией по шине USB составляет 1,5 и 12 Мбит/с. Все периферийные устройства должны быть оборудованы разъемами USB. Они подключаются к компьютеру через отдельный выносной блок, именуемый USB-хабом или концентратором. С помощью выносного блока к компьютеру можно подключить до 127 периферийных устройств.

Для использования шины USB под управлением операционных систем Windows 95/98/2000, Windows NT и OS/2 Warp созданы специальные драйверы.

**Ш и н а I E E E 1 3 9 4.** Стандарт IEEE 1394 на высокоскоростную локальную последовательную шину разработан на основе технологии FireWire (огненный провод) фирмами Apple и Texas Instruments. Он является частью нового стандарта Serial SCSI (SCSI-3). Шина IEEE 1394 предназначена для подключения жестких дисков и устройств обработки аудио- и видеоинформации. Она идеально подходит для работы мультимедийных приложений в реальном времени, особенно тех из них, которые связаны с нелинейным монтажом видеофрагментов.

Шина IEEE 1394 способна передавать данные со скоростью 100, 200, 400, 800 и 1600 Мбит/с (12,5, 25, 50, 100 и 200 Мбайт/с), а при работе с файлами некоторых типов — до 1 Гбит/с. Такая высокая скорость достигается за счет передачи информации в *пакетном* режиме. Шина использует простой 6-проводный кабель, поддерживает технологию Plug and Play, включая возможность установки и извлечения компонентов без отключения питания компьютера («горячего» подключения). Шина IEEE 1394 построена по разветвляющейся топологии и позволяет использовать до 63 узлов в цепочке. К каждому узлу можно подсоединить до 16 устройств. Кроме того, возможно дополнительно подключить до 1023 шинных перемычек, которые способны соединять более 64 000 узлов. Для передачи сигналов без искажений длина стандартного кабеля, соединяющего два узла, не должна превышать 4,5 м.

Подключать к компьютеру через интерфейс IEEE 1394 можно практически все устройства, способные работать с SCSI. К ним отно-

сятся все виды накопителей на дисках, включая жесткие, оптические, CD-ROM, цифровые видеодиски (DVD), цифровые видеокамеры, устройства записи на магнитную ленту и многие другие высокоскоростные периферийные устройства. Такие возможности делают шину IEEE 1394 перспективной для объединения компьютера с бытовой электроникой [2, 10].

**Шина процессора.** Эта высокоскоростная шина является ядром набора микросхем и системной платы. Используется в основном процессором для передачи данных между кэш-памятью или основной памятью и компонентом North Bridge набора микросхем. В системах на базе процессоров Pentium II эта шина работает на частоте 66, 100, 133 или 200 МГц и имеет ширину 64 разряда.

**Конструктивные средства интерфейса.** Нормальное функционирование компьютерной системы обеспечивается электрическим интерфейсом, с помощью которого происходит обмен электрическими сигналами между отдельными устройствами. Электрическое сопряжение компьютерных устройств реализуется путем использования конструктивных средств. Конструктивный интерфейс компьютера неоднороден: он включает простые соединительные компоненты и весьма сложные устройства, обеспечивающие требуемые формы и уровни электрических сигналов. Можно выделить три группы конструктивных средств, предназначенных для создания электрических связей между отдельными устройствами. Дадим краткий обзор конструктивных средств каждой группы.

**Средства с преобразованием сигналов.** Это наиболее сложные устройства, обеспечивающие взаимодействие узлов центральной части компьютерной системы и ее связь с периферией. К ним можно отнести системную плату, адаптеры и контроллеры.

*Системной платой* (System Board), или *материнской платой* (Mother Board), называют основную печатную плату, на которой устанавливается процессор, оперативная память, ROM BIOS и некоторые другие системные компоненты. Системная плата обеспечивает взаимодействие процессора с основной памятью, а также расположенных на ней узлов. Через системную плату осуществляются связи со многими устройствами компьютера.

Для подключения периферийных устройств к компьютеру используются специализированные адаптеры или контроллеры, встраиваемые в системную плату или размещаемые на платах (картах) расширения.

**Адаптер** является средством сопряжения устройства с шиной или интерфейсом компьютера. Например, дисплейный адаптер

(Display Adapter) служит для подключения дисплея-монитора. Адаптер представляет собой печатную плату с краевым разъемом, поэтому его называют также *картой* (платой) *расширения* (Expansion Card).

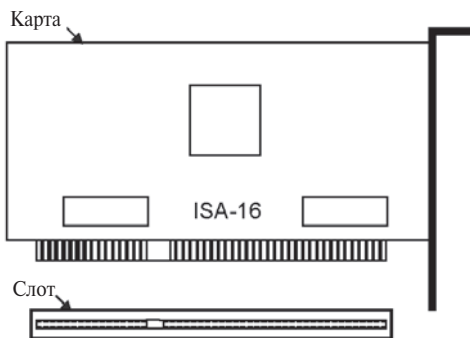


Рис. 2.2. Карта ISA-16 и слот для ее установки

С помощью краевого разъема адаптер устанавливается в *слот* (Slot). На рис. 2.2 в качестве примера приведены карта, предназначенная для шины ISA-16, и слот, в который устанавливается карта. Для связи с периферийным устройством на карте имеется по крайней мере один дополнительный разъем, который выводится на заднюю стенку корпуса.

Контроллер служит тем же целям сопряжения, но в отличие от адаптера обладает дополнительными способностями к самостоятельным (интеллектуальным) действиям после получения команд от обслуживающей его программы. Сложный контроллер может иметь в своем составе собственный процессор.

Средства для обеспечения электрических контактов. Рассмотрим представителей этого наиболее широкого класса конструктивных компонентов.

К одному из них, как отмечалось выше, относится слот в виде щелевого разъема, в который устанавливается печатная плата. *Слот расширения* (Expansion Slot) является посадочным местом для установки карты расширения, обеспечивающей связь шины (ISA/EISA, PCI, AGP, MCA, VLB) с периферийным устройством.

В компьютере имеются *внутренние слоты*, которые используются для установки модулей оперативной памяти (DIMM), кэш-памяти (COAST), процессоров Pentium II/III, Athlon, а также процессорных модулей и модулей памяти в некоторых моделях персональных компьютеров.

Сокет (Socket) представляет собой гнездо, в которое устанавливаются микросхемы процессоров (возможно, и других устройств). Его контакты рассчитаны на микросхемы со штырьковыми выводами. На рис. 2.3 приведена конфигурация сокета, предназначенного для установки процессора i486. Сокеты для современных процессоров рассчитаны на большее количество штырьковых выводов. Сокет *Zip-*

*Socket* (*Zero Insertion Force* — с нулевым усилием вставки) предназначен для легкой установки при высокой надежности контактов. Эти гнезда имеют замок, открыв который можно установить или изъять микросхему без приложения усилия к ее выводам. Для работы после установки замок закрывают, при этом контакты сокета плотно обхватывают выводы микросхемы.

*Джампер* (*Jumper*) используется для электрического соединения некоторых цепей, осуществляемого в процессе конфигурирования отдельных устройств, для которых не требуется оперативного управления. Он представляет собой съемную перемычку, устанавливаемую на торчащие из печатной платы штырьковые контакты (рис. 2.4). Джамперы применяются для конфигурирования различных компонентов как выключатели или переключатели. Их переставляют с помощью пинцета при выключенном питании, поскольку есть опасность закоротить пинцетом близко расположенные контакты.

*DIP-переключатели* (*DIP Switches*) представляют собой малогабаритные выключатели в корпусе *DIP* (*Dual In-line Package* — корпус с двухрядовым расположением выводов) (рис. 2.5). Они применяются для тех же целей, что и джамперы. Их *достоинство* — простота переключения; *недостаток* — большая, по сравнению с джамперами, занимаемая площадь и более высокая цена. Кроме того, несмотря на название, они обычно являются только выключателями, что делает их применение менее гибким, чем применение джамперов.

Для упрощения конфигурирования в современных компонентах стремятся заменить механические переключатели или джамперы программно-управляемыми электронными компонентами. Карты (платы), в которых произведена такая замена, называют *Jumperless Cards* —

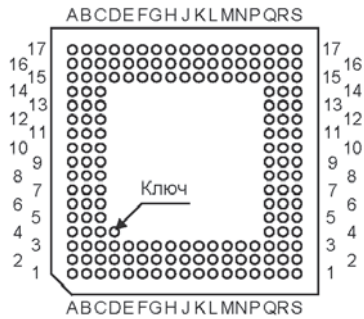


Рис. 2.3. Сокет для установки процессора

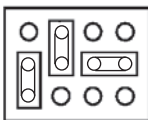


Рис. 2.4. Джампер

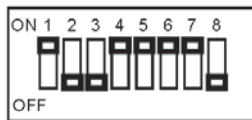


Рис. 2.5. DIP-переключатель

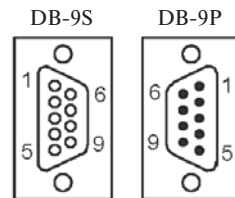


Рис. 2.6. Разъемы D-типа



карты, свободные от джамперов. Автоматически конфигурируемые компоненты относятся к классу PnP (Plug and Play).

Для соединения устройств и узлов ПК применяется большое количество различных разъемов. Рассмотрим некоторые из них.

Широкое распространение получили разъемы *D-типа*, используемые для подключения внешних устройств — мониторов, принтеров, модемов, манипуляторов и т.п. *Розетки* (называемые также «мамы» — Female) обозначаются как DB-xxS, где xx — количество контактов. *Вилки* («папы» — Male) обозначаются как DB-xxP. Ключом является D-образный кожух. Для иллюстрации на рис. 2.6 приведены разъемы DB-9S и DB-9P. Назначение разъемов D-типа, выходящих на заднюю стенку ПК, стандартизовано (табл. 2.1).

Таблица 2.1

| Тип разъема                 | Назначение                |
|-----------------------------|---------------------------|
| Вилка DB-9P                 | COM-порт                  |
| Розетка DB-9S               | Выход на монитор          |
| Розетка DB-15S (двухрядная) | Game-порт, MIDI           |
| Розетка DB-15S (трехрядная) | Выход на монитор VGA/SVGA |
| Вилка DB-25P                | COM-порт                  |
| Розетка DB-25S              | LPT-порт                  |

Разъемы *IDC* (Insulation-Displacement Connector — разъем, смещающий изоляцию) получили название от способа присоединения кабеля. Эти разъемы предназначены в основном для использования ленточных кабелей шлейфов, так как их контакты со стороны, обращенной к кабелю, имеют ножи, подрезающие и смещающие изоляцию проводников кабеля. Для заделки кабелей в эти разъемы имеются специальные инструменты-прессы.

Существует два типа разъемов IDC:

⇒ разъемы, имеющие на вилке *краевые* печатные контакты (рис. 2.7,а).

Для печатных разъемов ключ представляет собой перемычку, расположенную на вилке ближе к первым контактам, и соответствующую ей прорезь в розетке;

⇒ разъемы, имеющие на вилке *штырьковые* контакты (рис. 2.7,б). Для штырьковых разъемов ключом является выступ на вилке и прорезь в розетке. Ключом может служить отсутствующий штырек на вилке без соответствующего отверстия в ответной части разъема.

Ключ предназначен для правильного соединения контактов разъема.



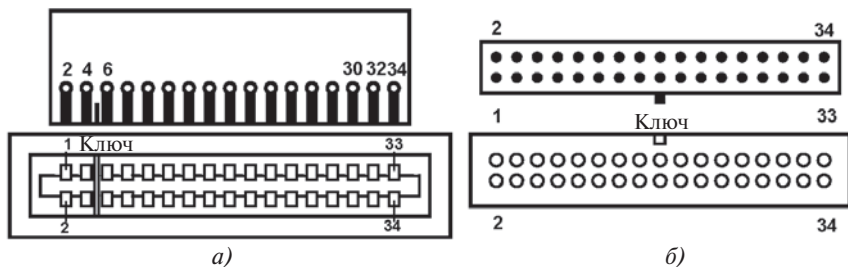


Рис. 2.7. Разъемы IDC с краевыми печатными (а) и штырьковыми (б) контактами

Коммуникационные средства. Для удаленных друг от друга устройств в компьютерных системах применяют кабели различных типов — экранированные, неэкранированные с витыми парами проводов, плоские кабели-шлейфы и др. Для передачи сигналов наиболее часто используется витая пара сигнального и общего провода. Более качественным (с точки зрения частотных свойств и помехозащищенности) является дифференциальный способ передачи сигналов, при котором по двум проводам передаются инверсные сигналы. На рис. 2.8,а изображен кабель с двумя сигнальными парами и двумя линиями питания. Такой кабель используется в последовательной шине IEEE 1394. Широко распространен плоский кабель-шлейф, в котором сигнальные провода чередуются с общими проводами. На ленточном кабеле крайний провод, соединяемый с контактом «1», маркируют цветной краской (рис. 2.8,б). На печатной плате штырек «1» обычно имеет отличающуюся от других (квадратную) форму контактной площадки. Ленточные кабели-шлейфы применяются с разъемами IDC для соединений внутри корпуса — подключения накопи-

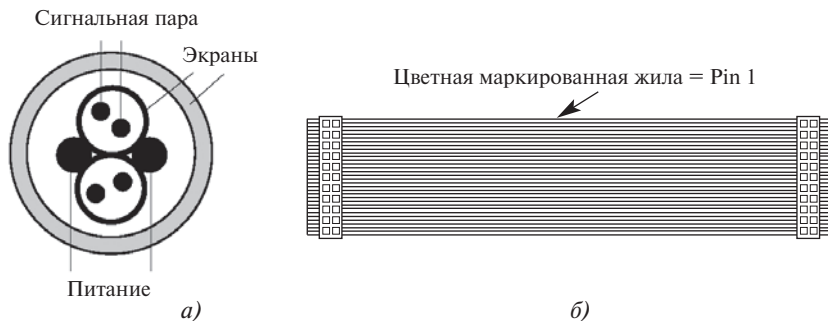


Рис. 2.8. Коммуникационные средства: кабель с двумя сигнальными парами и двумя линиями питания (а); ленточный кабель (б)

телей, а также подключения внешних разъемов к системной плате и картам расширения.

Описание ряда конструктивных компонентов будет приведено при рассмотрении отдельных компьютерных устройств, в которых они применяются.

**Системная логика.** К системной, или интерфейсной, логике относятся схемные средства (расположенные обычно на системной плате), обеспечивающие связующие функции (сопряжение) шин и устройств. В первых компьютерах системная логика базировалась на микросхемах малой и средней степени интеграции. Современная системная логика выполняется на основе наборов БИС, реализующих все необходимые функции связи основных компонентов — процессора, памяти и шин расширения. Такие наборы БИС, именуемые *чипсетами* (Chipset), определяют возможности применения различных типов процессоров, основной и кэш-памяти, а также ряд других характеристик компьютерной системы.

По мере развития компьютерной техники функции чипсетов постоянно расширяются. Так, в первых компьютерах они сводились к сопряжению шины процессора с относительно несложным контроллером памяти и подключению к ним шины ISA, на которой располагались все устройства. Расширение функций компьютера и усложнение схемных решений привело к появлению новых, дополнительных шин. С точки зрения системной логики большую роль сыграла шина PCI, через которую строилась связь системной шины, порта AGP с шинами ISA, USB и др. На схемах шину PCI традиционно изображают посередине, как *экватор*. Процессор, память и порт AGP размещают выше — «севернее», а шины ISA, USB и все подключаемые к ним устройства размещают ниже — «южнее». Поэтому соответствующие части чипсета получили укоренившиеся названия *северных* (North) и *южных* (South), а схемные средства связи обеих частей — *северный* и *южный мост*.

Шинно-мостовая архитектура чипсетов просуществовала долгое время и пережила несколько поколений процессоров (от 2-го до 6-го). С появлением порта AGP, пропускная способность которого в режиме 2× составляет 533 Мбайт/с, а в режиме 4× — 1066 Мбайт/с, и введением высокоскоростных режимов UltraDMA (ATA/66 и ATA/100) для связи двухканального контроллера IDE с памятью через шину PCI функции северного моста значительно усложнились. Эти новшества потребовали перехода на *хабовую архитектуру* (hub-архитектуру) *чипсета*. *Хабы* — это специализированные микросхемы, обеспечивающие передачу данных между подключенными к ним шинами.