

Московский государственный технический университет  
имени Н.Э. Баумана

**А.М. Губарь**

**Начальный курс информатики**  
**Конспект лекций**  
**Часть 3**

*Рекомендовано Научно-методическим советом МГТУ им. Н.Э. Баумана  
в качестве учебного пособия*

М о с к в а  
Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана  
2014

## 6. Хранение информации

Хранение информации связано с ее отображением в свойствах или расположении физических объектов, которые являются носителями информации. Для обеспечения хранения и последующего воспроизведения информации необходимо выполнение ряда действий, а именно:

- представление информации на выбранном носителе;
- запись и чтение информации;
- поиск требуемой информации при чтении;
- поиск места для информации при ее записи.

Методы и средства, реализующие перечисленные процедуры, образуют системы хранения, которые условно можно разделить на два класса. К первому классу относятся запоминающие устройства (ЗУ) различного типа, обеспечивающие хранение и воспроизведение хранимой информации в компьютере. Вторым классом систем хранения образуют многочисленные базы данных, автоматизированные информационно-поисковые, информационно-справочные, экспертные системы и т.п.

Итак, компьютерные запоминающие устройства – это ЗУ для приема, хранения и выдачи информации в компьютерах и вычислительных системах. Они состоят в общем случае из накопителя, блоков приема, записи, выборки и выдачи информации, а также блока местного управления. По характеру обращения к ЗУ, по способу выборки информации из отдельных ячеек, по функциональному назначению такие устройства можно классифицировать различным образом. Предметом нашего рассмотрения и станут основные типы указанных устройств.

## 6.1. Электронная память

Электронная память компьютера представляет собой сложную многоуровневую систему хранения информации. Желательно, чтобы такая память была большой, быстрой и дешевой, однако нельзя одновременно удовлетворить все эти три требования, поскольку увеличение объема и быстродействия связано также с ростом стоимости памяти. Поэтому постоянно разрабатываются и внедряются новые способы создания *видимости* большой и быстрой компьютерной памяти.

Система электронной памяти является внутренней памятью компьютера и включает в себя оперативную память, кэш-память, постоянную память, полупостоянную память и буферную память. С учетом последнего замечания следует назвать и виртуальную память.

Прежде чем перейти к изучению архитектуры и компонентов памяти компьютера, рассмотрим основные характеристики памяти, а также принципы ее адресации и взаимодействия с процессором.

### 6.1.1. Характеристики памяти

Сначала определимся с терминологией, так как в различных источниках и разных ситуациях под разными понятиями подразумеваются, по существу, одни и те же объекты.

Мы уже говорили о разрядной сетке компьютера, под которой понимается совокупность двоичных разрядов, предназначенных для хранения и обработки чисел. *Машинное слово* – это последовательность битов, полубайтов или байтов, представляющих двоично-цифровую или

буквенно-символьную информацию. Обычно машинное слово занимает одну ячейку памяти компьютера, и при обращении к нему устройства оперируют с ним как с единым целым. *Ячейка ЗУ* – это совокупность запоминающих элементов накопителя, предназначенная для хранения одного слова или числа; она характеризуется длиной, то есть максимальным количеством двоичных разрядов (битов), которые одновременно могут храниться в ней. Длина ячейки обычно равна длине машинного слова или кратна ей, а их количество определяет емкость ЗУ.

Основными характеристиками компьютерной памяти являются объем или емкость, быстродействие, производительность и достоверность хранения информации.

*Объем* памяти определяется количеством ее ячеек, предназначенных для хранения информации, и обычно измеряется в мегабайтах, а также гигабайтах и терабайтах.

*Быстродействие* памяти характеризуется временем выполнения операций записи и чтения. Для любого запоминающего элемента памяти определяющими являются минимальное время доступа и длительность цикла обращения. *Время доступа* – это временной интервал между началом цикла чтения и появлением данных на выходе памяти. *Длительность цикла* – это минимальный промежуток времени между двумя последовательными операциями обращения к памяти, причем циклы чтения и записи могут быть различны, а цикл обращения обычно больше времени доступа. Разумеется, эти параметры зависят от способов реализации запоминающих устройств, то есть определяются принципом действия последних и технологией их изготовления.

*Производительность* памяти характеризуется скоростью потока записываемых или считываемых данных и обычно измеряется в мегабайтах в секунду. Эта характеристика наряду с производительностью процессора существенно влияет на производительность компьютера в целом. Она

определяется временем выполнения пакетных режимов обращения и зависит также от частоты системной шины и разрядности шины памяти, под которой подразумевается количество единиц информации (бит или байт), одновременно участвующих в операциях чтения или записи.

*Достоверность* хранения информации можно определить как время наработки запоминающего устройства на отказ. Дело в том, что при функционировании любой системы возможны как случайный *сбой* в ее работе, так и устойчивый *отказ*, приводящие к ошибочным результатам. Вероятность ошибки при работе современных микросхем памяти достаточно мала, но всё же она существует. Случайный сбой может произойти и в исправной микросхеме, после него следующая операция обращения к памяти выполнится правильно. Отказ ячейки памяти приводит к потере ее работоспособности, которая, однако, может самопроизвольно восстановиться после, например, повторного включения питания. В первых персональных компьютерах применялся *контроль четности*, при котором каждый байт памяти дополняется битом паритета, в результате чего общее количество единиц всегда нечетно. Значение этого бита аппаратно генерируется при записи информации в память и проверяется при ее считывании. Если фиксируется ошибка паритета, то на экран выводится соответствующее сообщение с указанием адреса сбойной ячейки, и процессор останавливается, причем из этого состояния он может выйти по прерываниям. Применяется и другой способ контроля: для информации, записываемой в ячейку памяти, вычисляется *функция свертки*, значение которой, а это уже несколько бит, также хранится в памяти. При считывании благодаря этой избыточной информации возможно обнаружение ошибок различной кратности и автоматическое исправление некоторых из них (подробнее этот механизм изложен при рассмотрении корректирующих кодов). Наконец, достоверность информации, хранимой в памяти, проверяется с использованием

*контрольной суммы* – байта, дополняющего до нуля сумму по модулю 256 всех байт контролируемой области.

### **6.1.2. Принципы адресации памяти**

Теперь перейдем к рассмотрению основных принципов адресации памяти и организации связи между памятью и процессором.

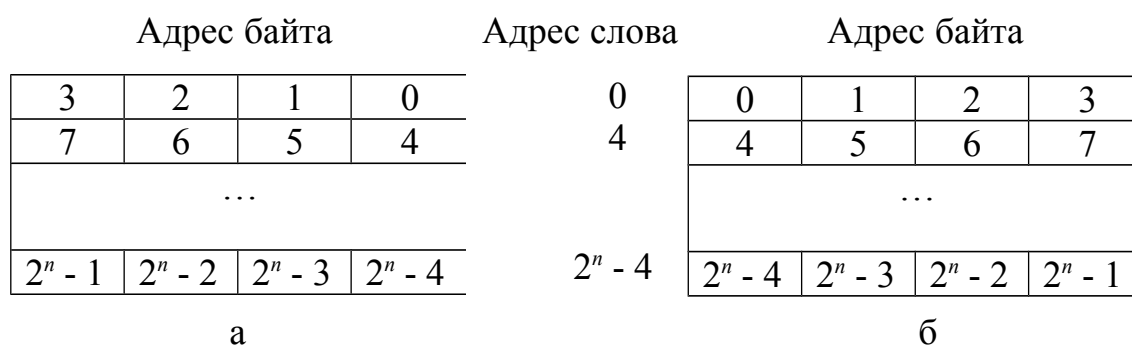
Как известно, кроме числовой, компьютер обрабатывает и символьную информацию, под которой понимают буквы алфавитов, знаки препинания, управляющие символы и т.п. Она обычно представляется в виде кодов длиной 8 бит (1 байт), причем наиболее распространенной кодовой таблицей является таблица кодов ASCII (American Standard Code for Information Interchange – Американский стандартный код для обмена информацией). Такая таблица содержит основной стандарт, в котором для кодирования символов используются шестнадцатеричные коды от 00 до 7F, и его расширение – коды от 80 до FF. Основным стандартом является международным и используется для кодирования управляющих символов, цифр и букв латинского алфавита, а в его расширении кодируются буквы национальных алфавитов и символы псевдографики.

Память, хранящая числовую и символьную информацию, состоит из огромного количества запоминающих элементов или двоичных разрядов, каждый из которых может содержать один бит информации (0 или 1). Обычно биты обрабатываются группами фиксированной длины – организация памяти позволяет записывать и считывать такие группы, называемые *словами*, за одну операцию. Таким образом, компьютерную память схематично можно представить в виде последовательного набора слов информации. Поскольку

длина слова современных компьютеров колеблется от 16 до 64 бит, при *байтовой адресации*, а именно так адресуется память большинства компьютеров, в одном слове может храниться от двух до восьми символов ASCII.

Для *записи* или *чтения* элементов информации (байтов или слов) необходимо определить их месторасположение в памяти, поэтому байтам или словам присваиваются имена или *адреса*. В качестве таких адресов используют числа от 0 до  $2^n - 1$ , где  $n$  – целое число, достаточное для адресации всей памяти. Таким образом,  $2^n$  адресов образуют адресное пространство памяти компьютера, и она содержит  $2^n$  адресуемых элементов. Так 16-разрядный компьютер, генерирующий 16-разрядные адреса, может использовать память объемом до  $2^{16} = 64$  Кбайт, 32-разрядный компьютер, генерирующий 32-разрядные адреса, – память объемом до  $2^{32} = 4$  Гбайт, наконец, 40-разрядный компьютер – память объемом до  $2^{40} = 1$  Тбайт.

В компьютерах применяются два способа адресации байтов в словах – прямой и обратный порядок (рисунок 6.1):



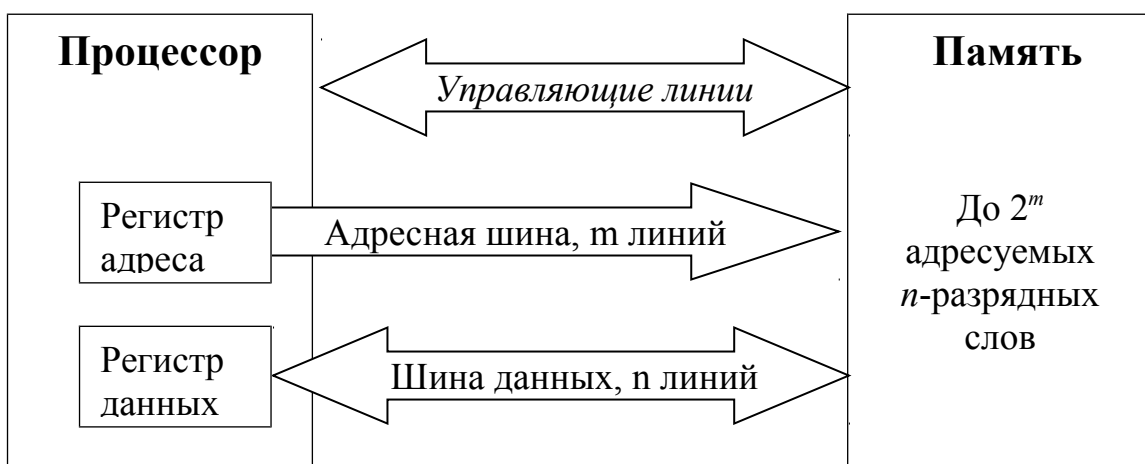
**Рис. 6.1.** Прямой (а) и обратный (б) порядок адресации байтов

При *прямом* порядке адресации, используемом в процессорах Intel, байты в словах адресуются справа налево, и наименьший адрес имеет младший байт слова, расположенный справа. При *обратном* порядке, используемом в процессоре Motorola 68000, байты в словах адресуются слева направо, и наименьший адрес имеет старший байт слова, расположенный слева. В

процессоре ARM используются обе системы адресации. В любом случае адреса байтов 0, 4, 8, 12, ... применяются и в качестве адресов последовательных слов памяти при операциях их чтения и записи.

Итак, операциями с памятью являются чтение (считывание, выборка или загрузка) и запись (сохранение). Они выполняются при функционировании программ, содержащих команды и данные, причем последние являются операндами команд, и все это хранится в памяти. При чтении в процессор пересылается копия содержимого памяти по заданному адресу. Для этого процессор сначала должен послать в память адрес с запросом соответствующего содержимого. При записи в память из процессора пересылается информация по заданному адресу, а предыдущие данные стираются.

Пересылка данных объемом в один байт или слово между памятью и процессором осуществляется за одну операцию. Это достигается за счет того, что в процессоре имеются, в частности, 2 регистра – *регистр адреса* и *регистр данных*, каждый из которых может вместить одно слово. Такие регистры при обмене информацией между памятью и процессором являются либо источниками, либо приемниками данных. Связь между процессором и памятью при обмене данными показана на рисунке 6.2.



**Рис. 6.2.** Организация связи между процессором и памятью



В общем случае регистр адреса может содержать  $m$  бит, а регистр данных –  $n$  бит. Тогда память будет содержать до  $2^m$  адресуемых  $n$ -разрядных ячеек, и за один цикл между нею и процессором по *шине*, имеющей  $m$  адресных линий,  $n$  линий данных и несколько управляющих линий, будут пересылаться  $n$  бит данных.

При реализации операции чтения данных из памяти процессор загружает нужный адрес в регистр адреса и посылает соответствующий сигнал по управляющей линии. После этого затребованные данные помещаются на линиях данных, о чем свидетельствует управляющий сигнал, поступающий из памяти в процессор. Получив это подтверждение о готовности, процессор заносит данные в регистр данных. Запись информации в память осуществляется по аналогичной схеме: сначала процессор загружает адрес в регистр адреса, а данные – в регистр данных, посылая управляющий сигнал, затем производится пересылка.

### **6.1.3. Оперативная память**

*Оперативная* или *основная* память компьютера служит для хранения информации и оперативного обмена ею между процессором, внешней памятью и периферийными устройствами. Ее также называют ОЗУ – оперативным запоминающим устройством, предназначенным для записи, хранения и выдачи информации, непосредственно участвующей в вычислительном процессе при функционировании компьютера. Этому названию примерно соответствует английский термин RAM (Random Access Memory – память с произвольным доступом), под которым подразумевается возможность обмена информацией с любой ячейкой ОЗУ в произвольной последовательности.

Стремительное развитие технологии СБИС (сверхбольших интегральных схем), привело к тому, что в настоящее время практически вся память реализуется на основе полупроводниковых микросхем, содержащих матрицы запоминающих элементов, расположенных на пересечении горизонтальных и вертикальных шин матрицы, подачей импульсов по которым осуществляется запись и считывание информации. Такая память является *энергозависимой*, поскольку информация теряется при отключении напряжения питания. Существуют два типа подобных ОЗУ: динамическая и статическая память.

*Динамическая* память получила свое название из-за принципа действия ее запоминающих элементов, которыми являются *конденсаторы*. В ячейке такой памяти информация хранится в виде заряда на конденсаторе, который может сохраняться очень непродолжительное время, поэтому ее содержимое необходимо периодически обновлять, восстанавливая заряд. Дело в том, что при отсутствии обращения к ячейке конденсатор начинает разряжаться за счет токов утечки, поэтому память может работать только в динамическом режиме, путем циклического перебора каждой ячейки периодически подзаряжая конденсаторы. При записи логической единицы конденсатор заряжается, при записи нуля – разряжается. При считывании определяется, соответствует ли заряд единице – если да, то на линию считываемого бита подается напряжение, соответствующее единице, а в итоге конденсатор подзаряжается до прежнего уровня.

Ячейки динамической памяти имеют относительно простую конструкцию, поэтому на одном кристалле можно разместить миллионы таких ячеек, получая дешевую полупроводниковую память с невысоким энергопотреблением. Однако быстродействие памяти рассматриваемого типа сравнительно невелико, а схемы управления ею достаточно сложны.

*Статическая* память может хранить информацию все время, пока подключено питание. Другими словами, она работает в статическом режиме, не требуя обновления содержимого ячеек при отсутствии обращения к ним. В

качестве запоминающих элементов используются *триггеры*, поэтому конструктивно эти ячейки более сложны и объемны по сравнению с динамической памятью, а значит и дороже, однако они проще в управлении и не требуют регенерации, то есть восстановления хранимой информации.

Быстродействие и энергопотребление статической памяти зависят от технологии изготовления ее запоминающих элементов. При использовании технологии КМОП, когда схемы реализуются на базе комплементарных (то есть дополняющих друг друга) металло-оксидных полупроводниковых транзисторов, строится самая экономичная память с питанием от маломощной батареи, применяемая для долговременного хранения информации, имеющая, правда, время доступа свыше ста наносекунд. Кроме того, малый размер МОП-транзисторов позволяет производить микросхемы с очень высокой степенью интеграции элементов.

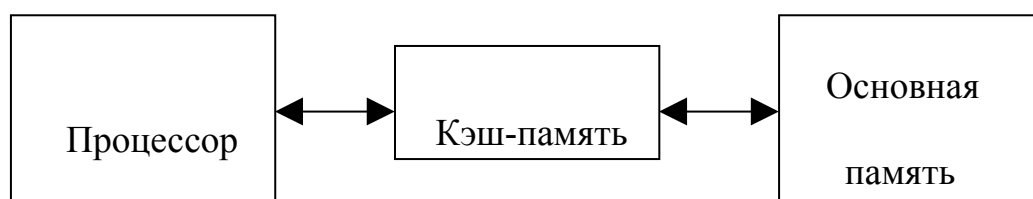
Главным преимуществом статической памяти, реализованной на основе обычных транзисторов, является ее быстродействие, хотя оно достигается при высоком энергопотреблении. В современных микросхемах время доступа составляет всего несколько наносекунд, что позволяет памяти работать на частоте системной шины процессора, поэтому в персональных компьютерах эти ОЗУ используются для построения вторичной кэш-памяти.

#### **6.1.4. Кэш-память**

При функционировании компьютера процессор обрабатывает команды и данные за время, которое меньше времени доступа к памяти. В связи с этим возникает проблема сопряжения быстрого процессора с относительно медленно действующей памятью, которая решается путем использования СОЗУ – *сверхоперативного запоминающего устройства*.

Это быстродействующая память сравнительно небольшого объема, совмещающая функции нескольких регистров процессора, которая применяется для временного хранения часто используемых данных, констант, коротких подпрограмм и промежуточных результатов. Она предназначена для немедленного предоставления процессору тех блоков информации, которые необходимо обработать в текущий момент. В СОЗУ запоминается самая последняя информация, выбранная из оперативной памяти, а также рядом расположенные данные, в предположении, что эта информация скоро снова потребуется процессору, причем обмен блоками данных между СОЗУ и ОЗУ производится аппаратно.

Другое название СОЗУ – регистровая *кэш-память*. По сути, она является разновидностью *буферной памяти*, так как действительно исполняет роль буфера между процессором и ОЗУ для увеличения производительности компьютера (рисунок 6.3). Кэш-память не является самостоятельным запоминающим устройством в том смысле, что она недоступна для пользователя: информация, хранящаяся в ней, не адресуема клиентами памяти, то есть ее присутствие для них «прозрачно» – отсюда и ее название, поскольку слово *cache* в переводе с английского означает тайник.

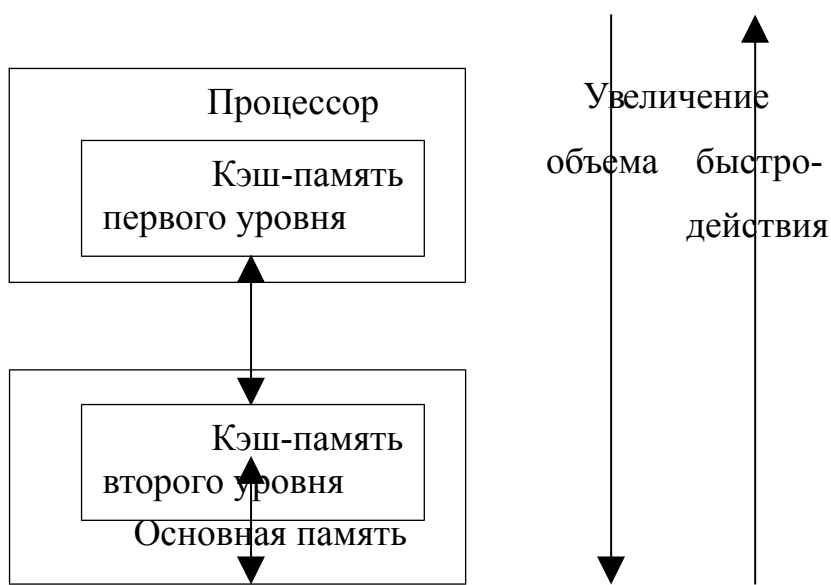


**Рис. 6.3.** Взаимодействие кэш-памяти с процессором и оперативной памятью

В кэш-памяти хранится ограниченное количество блоков данных и каталог, являющийся списком их текущего соответствия областям оперативной памяти. Набор копируемых в кэш-память команд программы

или данных с их последовательными адресами является *блоком* или *строкой кэша*. При каждом обращении к ОЗУ по каталогу проверяется, имеется ли в кэш-памяти копия затребованных данных. Положительный ответ соответствует случаю *кэш-попадания*, и данные берутся из кэш-памяти, отрицательный ответ – случаю *кэш-промаха*, и данные берутся из оперативной памяти. Эффективность механизма кэширования зависит от функционирования *алгоритма замещения*, представляющего собой совокупность правил, согласно которым принимается решение о замене того или иного блока кэш-памяти на новый блок, когда она переполнена, а приходит запрос на отсутствующую в ней информацию. Именно этот алгоритм и определяет процент попаданий и промахов.

Обычно в современных компьютерах кэш-память строится по двухуровневой схеме, но иногда она бывает и трехуровневой. Первичный кэш или *кэш-память первого уровня* является внутренней по отношению к процессору и располагается на его микросхеме. Вторичный кэш или *кэш-память второго уровня* имеет больший объем, устанавливается на системной плате и является внешней по отношению к процессорам вплоть до Pentium. В P6 и более мощных процессорах она также расположена на микросхеме процессора, для них дополнительный кэш на системную плату не устанавливается. Наконец, *кэш-память третьего уровня* устанавливается на системной плате для процессора AMD K6-3, имеющего встроенную двухуровневую кэш-память. Система внутренней памяти компьютера с двухуровневым кэшированием приведена на рисунке 6.4.



## 6.4. Внутренняя память компьютера

Итак, кэширование основной памяти является эффективным средством повышения производительности современных компьютеров. Следует отметить, что существенное влияние на этот показатель оказывают параметры кэширования, задаваемые начальными установками CMOS Setup.

### 6.1.5. Постоянная и полупостоянная память

Для некоторых компонентов компьютера требуются *энергонезависимые* запоминающие устройства, в которых информация сохраняется и после отключения питания. Конечно, примером таких устройств является внешняя память на жестких дисках, но в этом разделе мы рассмотрим только разновидности соответствующей электронной памяти, отличающиеся способом построения запоминающих ячеек, потребительскими свойствами и областями использования.

*Постоянное запоминающее устройство* (ПЗУ) – это энергонезависимая память, предназначенная для хранения *постоянной* информации, в частности, программ базовой системы ввода/вывода. Английский эквивалент этого типа памяти – ROM (Read Only Memory – память только для чтения). Обычно

операция чтения осуществляется в ней как и раньше, а запись производится по-другому – данные записываются в память при ее производстве, причем этот процесс, осуществляемый в *программаторе* или самом устройстве, называется программированием. Следует отметить, во-первых, что сначала ПЗУ строились на магнитных сердечниках, прошиваемых обмотками записи и считывания, поэтому термин «прошивка» сейчас используется также применительно к программированию ПЗУ. Во-вторых, завершающим этапом этого процесса является верификация – проверка правильности записанной информации путем ее сравнения с оригиналом. Чистые ячейки такой памяти содержат нули или единицы. Чтобы записать в нужные ячейки единицы (нули), импульсами тока прожигаются их плавкие соединения. Очевидно, что этот процесс необратим, но существуют и многократно программируемые ПЗУ. Можно выделить следующие типы таких устройств.

*Масочные ПЗУ* – это микросхемы, программируемые при изготовлении, их содержимое определяется рисунком *шаблона*. Они имеют высокое быстродействие, так как время доступа измеряется десятками наносекунд, практически нечувствительны к электромагнитным полям и рентгеновскому излучению, но их производство оправдано только при выпуске больших партий устройств с одинаковой прошивкой, так как стоимость изготовления шаблона для записи информации достаточно высока.

*Программируемые ПЗУ* или ППЗУ (английский эквивалент PROM – Programmable ROM) – это микросхемы, программируемые с помощью программаторов *однократно после* изготовления перед их установкой в нужное устройство. Эти ПЗУ имеют те же характеристики, что и масочные, однако находят более широкое применение, например в графических адаптерах, благодаря возможности программирования изготовителем оборудования, а не микросхем.

*Репрограммируемые* или перепрограммируемые ПЗУ, РПЗУ (английский эквивалент EPROM – Erasable PROM – стираемые ПЗУ) – это микросхемы,

стираемые и программируемые *множественно* в программаторе или в самом устройстве с подключением внешнего программатора. Стирание и перезапись информации, записанной в ячейках памяти, осуществляется ультрафиолетовым облучением, поэтому такие микросхемы размещаются в непрозрачных корпусах с прозрачными окошками. ПЗУ имеют два недостатка: для перепрограммирования чип необходимо извлечь из микросхемы, к тому же ультрафиолет стирает все его содержимое. Поэтому существует другая разновидность подобных устройств – *электрически стираемые* ПЗУ или EEPROM (Electrically Erasable PROM), недостатком которых, однако, является то, что для стирания, записи и чтения информации в них требуется разное напряжение, а операция записи выполняется сравнительно долго.

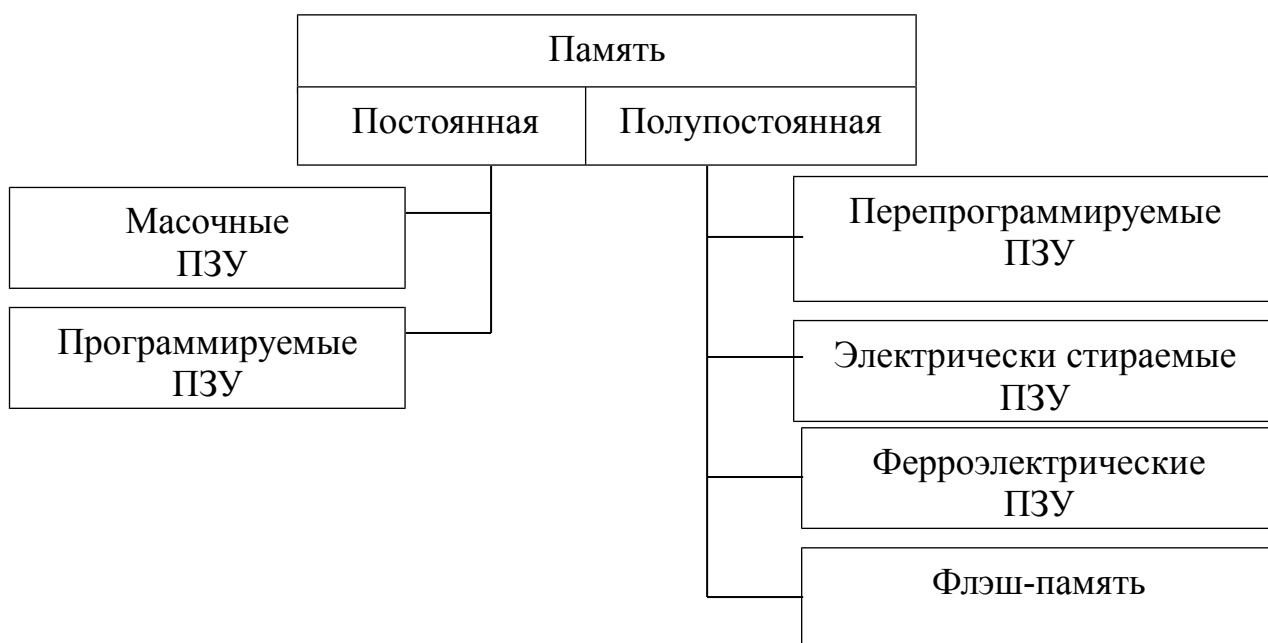
*Ферроэлектрические* ПЗУ или FRAM (Ferroelectric RAM) – это микросхемы, также перепрограммируемые электрически и множественно, но только в устройстве с использованием внешнего программатора. Такая память, как и EEPROM, является памятью с произвольным доступом, поскольку информацию можно менять не только во всей ее области или блоке, но и в отдельных ячейках, причем последние по своей структуре похожи на ячейки динамической памяти. Существенно, однако, то, что информация здесь хранится не в виде заряда конденсатора, а в виде направления поляризации кристаллов железа, и ее восстановления не требуется, к тому же запись в ячейки осуществляется непосредственно без предварительного стирания старой информации, а количество циклов перезаписи достигает величины  $10^{10}$ .

*Флэш-память* является сравнительно новой разработкой ПЗУ. Во многом она схожа с EEPROM: тоже перепрограммируется электрически, а ее ячейка содержит один униполярный (полевой) транзистор. С другой стороны, множественная перезапись производится в устройстве с использованием программы его микропроцессора, стирание исходной информации перед



записью новой осуществляется блоками или во всей микросхеме, что повышает производительность режима программирования, а считывание также производится из любой ячейки, которые объединяются в матрицы. Высокая плотность ячеек, надежность и экономичность при низкой стоимости привели к широкому использованию флэш-памяти в портативных системах, работающих на батареях – блокнотных компьютерах, сотовых телефонах, цифровых видеокамерах, MP3-плеерах и т.п. Поскольку для упомянутых изделий емкости одной микросхемы такой памяти недостаточно, в них используются две разновидности больших модулей, состоящих из значительного количества микросхем: *флэш-карты* и *флэш-диски*. Такие карты емкостью 64 Мбайт, способные хранить, например, 1 час музыкальной записи, имеют стандартный интерфейс, позволяющий использовать их в различных устройствах, причем карта просто вставляется в соответствующий слот. Флэш-диски пока имеют емкость до одного Гбайт, но зато они потребляют мало энергии, не содержат подвижных элементов и, значит, устойчивы к вибрациям.

Рассмотренные разновидности постоянной и полупостоянной памяти схематично представлены на рисунке 6.5.



**Рис. 6.5.** Разновидности постоянной и полупостоянной памяти

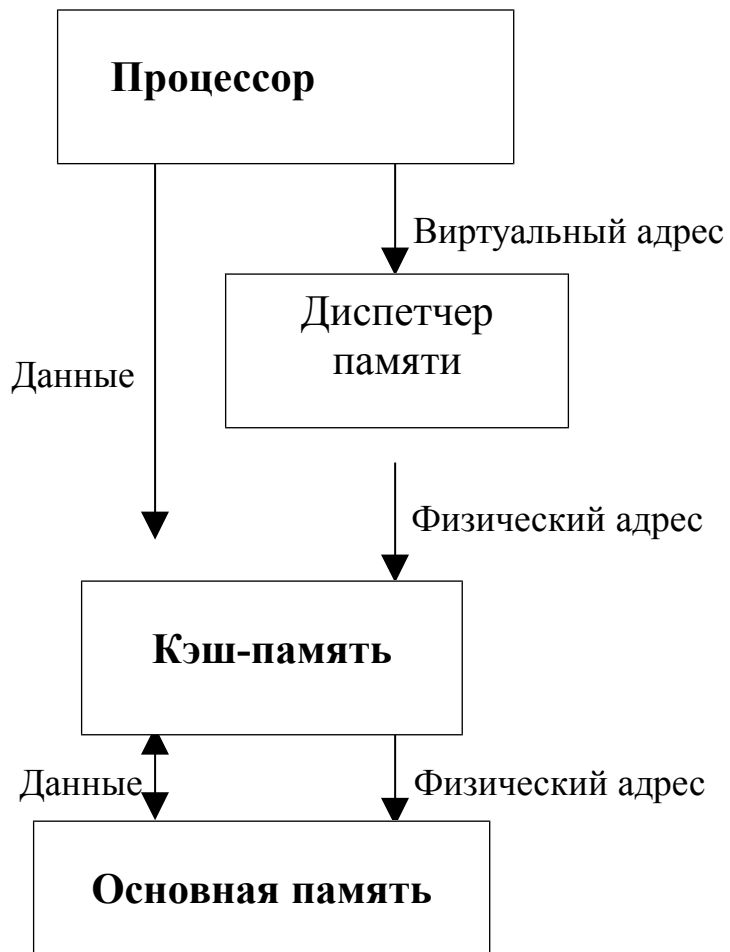
### **6.1.6. Виртуальная память**

Если регистр адреса, входящий в состав процессора, содержит 32 разряда, то процессор может генерировать 32-хразрядные адреса, а его адресное пространство будет размером 4 Гбайт. Однако основная память современных компьютеров имеет объем в несколько раз меньше, поэтому генерируемые процессором адреса, в принципе, иногда могут не соответствовать физическим адресам ячеек памяти. Получается, что процессору доступна большая память, чем она физически есть на самом деле, поэтому возникла идея использовать это обстоятельство, чтобы увеличить объем физической памяти, «видимой» компьютером. Так появилась концепция *виртуальной памяти* (виртуальный означает возможный, это слово латинского происхождения).

Объем виртуального адресного пространства определяется возможностями адресации процессора, причем в любой момент лишь часть этого пространства аппаратно отображается на физическую память в зависимости от реализации той или иной функции отображения. При выполнении программы она и процессор могут обращаться к командам и данным, адреса которых не зависят от адресного пространства основной памяти. В этом случае процессор генерирует адреса, которые называются *виртуальными* или *логическими*, а затем уже они транслируются *диспетчером памяти* в реальные физические адреса. Если сформированный таким образом адрес указывает на информацию, находящуюся в основной памяти, она сразу же становится доступной, в противном случае требуемый сегмент программы или данных должен быть сначала загружен в память,

например, с диска. Рассмотренный подход к организации виртуальной памяти иллюстрируется рисунком 6.6.

Преобразование виртуальных адресов в физические осуществляется в предположении, что все программы и данные состоят из сегментов определенной длины, которые называются *страницами*. Именно страница может перемещаться между магнитным диском и основной памятью, при этом замещая в ней другую страницу, которая в данный момент не требуется программе. Ясно, что эффективный механизм замещения страниц повышает вероятность нахождения нужной страницы в оперативной памяти, что снижает количество обращений к диску.





**Рис. 6.6.** Организация виртуальной памяти

Описанный подход во многом похож на механизм кэширования памяти. Отличия между ними заключаются в способе реализации. В то же время оба они предназначены для повышения быстродействия вычислительной системы, так как кэш-память уменьшает разницу в быстродействии между процессором и основной памятью, а виртуальная память – между основной памятью и внешними запоминающими устройствами.

## **6.2. Внешняя память**

Для решения многих задач с использованием компьютеров необходимы ЗУ, имеющие очень большую емкость и относительно невысокую стоимость хранения единицы информации, к тому же являющиеся энергонезависимыми. Такими устройствами являются *магнитные диски, оптические диски и магнитные ленты*, относящиеся к *внешней памяти* компьютера. Их принципиальное отличие от рассмотренных устройств электронной памяти заключается в способе доступа процессора к такой памяти. Если внутренняя память обеспечивает доступ к байтам или словам, то устройства внешней памяти оперируют с *блоками* информации. Такие блоки, имеющие обычно фиксированный размер, с помощью специальной процедуры переписываются

целиком из основной памяти во внешнюю и обратно, причем характер такого обмена зависит от типа устройства, его контроллера и интерфейса.

По методу доступа к хранимой информации различают устройства с прямым или непосредственным и последовательным доступом. Под *прямым доступом* подразумевается возможность обращения к блокам по их адресам в произвольном порядке. Типичными представителями таких устройств являются дисковые накопители. Устройства с *последовательным доступом* – это накопители на магнитных лентах. Чтобы добраться до нужного блока информации, необходима прокрутка носителя в прямом или обратном направлении, и только после этого возможен обмен данными. Конечно, время доступа к требуемой информации в этом случае достаточно велико, но ленточные ЗУ все-таки пока находят применение для хранения очень больших массивов архивной информации.

### **6.2.1. Жесткие магнитные диски - винчестеры**

Устройства этого типа в настоящее время используются в качестве внешней памяти практически в любом компьютере; вместе с процессором и оперативной памятью они определяют его мощность. Первые накопители на *жестких магнитных дисках* (НЖМГ или HDD – Hard Disk Drive) емкостью 16 Кбайт, выпущенные фирмой ИВМ в 1973 году, имели 30 дорожек (треков), разделенных на 30 секторов. Это случайно совпало с обозначением калибра «30/30» известного двуствольного ружья «Винчестер» – отсюда и неофициальное название, закрепившееся за этими накопителями. Наблюдается постоянный прогресс в области производства *винчестеров*: современные НЖМД имеют объем в десятки Гбайт, время доступа

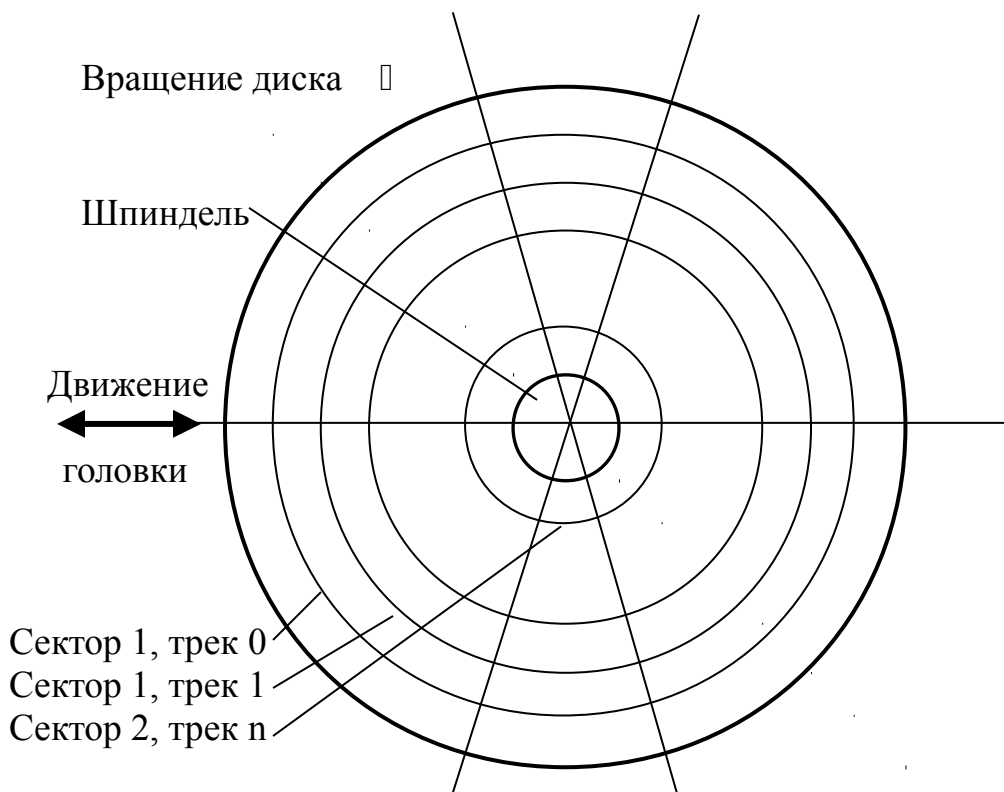
измеряется миллисекундами, скорость передачи данных составляет десятки Мбайт в секунду, надежность их работы высока, а стоимость низка.

Пластины жестких дисков диаметром 3,5 или 3 дюйма изготавливаются из алюминиевых сплавов, керамики или стекла. Как правило, с двух сторон на них наносится тонкий магнитный слой, содержащий окись железа или хрома. Такие магнитные материалы, обладающие прямоугольной петлей гистерезиса, позволяют фиксировать, а значит запоминать, два магнитных состояния, то есть два направления намагниченности, одно из которых «хранит» код 0, а другое – код 1. Конструкция, состоящая из одного или нескольких дисков, нанизывается на *шпиндель*, вращаемый *мотором* со скоростью до 15 тысяч оборотов в минуту.

Запись информации на магнитный слой (чаще всего ферромагнитный) и ее считывание осуществляются с помощью блока *магнитных головок*, представляющих собой катушки индуктивности, намотанные на магнитный сердечник с зазором, по которым пропускается ток. При записи головка намагничивает находящуюся под ней область поверхности диска, изменяя направление намагниченности частиц. При считывании информации изменение магнитного поля под головкой при вращении диска индуцирует напряжение в обмотке.

Чтобы обеспечить максимальную плотность записи, а также предельно возможную надежность записи и чтения, головки должны располагаться на микроскопическом расстоянии от рабочих поверхностей диска. При огромной скорости вращения диска возникает аэродинамический эффект, благодаря которому головка «парит» над поверхностью. Для уравнивания подъемной силы, отталкивающей головки от поверхности диска, которая может быть не идеально плоской, они монтируются на пружинной основе, прижимающей их к поверхности. В результате головки «парят» над поверхностью диска на требуемом расстоянии, даже при незначительных изменениях уровня поверхности. Пакет дисков со шпиндельным двигателем

и блок головок с приводом образуют *дисковод*, который обычно размещается в герметичном корпусе; здесь же крепится и *контроллер диска* – совокупность электронных схем, управляющих работой дисковой системы. Дисковый накопитель схематично показан на рисунке 6.7.



**Рис. 6.7.** Устройство дискового накопителя

Информация последовательно записывается на поверхность диска, которая разделена на концентрические *дорожки* или *треки*, причем их количество достигает 15 тысяч, а нумерация начинается с внешней дорожки. Каждая дорожка, в свою очередь, разбита на *сектора* фиксированного размера, каждый из которых обычно содержит 512 байт данных. Сектор, а всего их порядка 400 на одном треке, и является тем минимальным блоком информации, которая может быть записана на диск или считана с него. Кроме собственно *области данных* каждый сектор содержит *служебную область*, в которую записывается идентификационная или адресная информация и несколько бит, образующих код коррекции ошибок; такой код используется для обнаружения и исправления большинства ошибок записи или чтения

информации. Между секторами оставляются небольшие интервалы, чтобы можно было легко разграничить их. Если на шпинделе размещается пакет дисков или каждый из них имеет две рабочие поверхности, то набор всех дорожек с одинаковыми номерами образует логический *цилиндр*.

Чтобы диск стал работоспособным, он первоначально должен быть *отформатирован*. При этом формируются служебные области секторов, межсекторные интервалы и пустые поля данных для всех дорожек и секторов, на которые физически разделяется диск, а также выявляются все дефектные зоны. Поскольку каждый сектор имеет фиксированный размер, плотность записи информации на дорожках растет к центру диска, что характерно для большинства дисков. Если на внешних, более длинных, дорожках располагать больше секторов, чем на внутренних, то этим можно увеличить емкость диска, но тогда его контроллер окажется сложнее. Необходимо отметить, что кроме физического разделения диск, как правило, разбивается и на *логические* области, этот процесс рассмотрен в конце данного раздела.

*Время доступа*, определяемое, как и в случае с ОЗУ, временем задержки между получением адреса данных и началом их пересылки, складывается из двух составляющих. Во-первых, это *время поиска* (порядка 5 миллисекунд), необходимое на перемещение головки до нужной дорожки. Во-вторых, это *время задержки позиционирования*, необходимое на подвод начала нужного сектора выбранной дорожки под головку, которое в среднем равно половине времени одного оборота диска. Как правило, время доступа существенно больше собственно времени пересылки данных.

Большое значение имеет также расположение на диске считываемых данных. Ясно, что скорость передачи данных гораздо выше в том случае, когда затребованная информация располагается компактно, в пределах одного сектора, и считывается последовательно. Если же необходимые данные разбросаны по всему диску, эта скорость будет во много раз меньше.



Винчестер, как и другие устройства, входит в состав компьютерной системы, к которой он подсоединяется с помощью *стандартной шины*. Скорость пересылки данных по этой шине гораздо выше той, с которой они считываются с дорожек, поэтому снова возникает проблема сопряжения устройств, работающих с разной скоростью. И решается эта проблема тем же путем, что и в случае с процессором и оперативной памятью, то есть использованием буферной полупроводниковой памяти емкостью несколько Мбайт, которая служит еще и для кэширования данных, записанных на диске. Таким образом, запрошенные данные поступают с диска в буфер со скоростью, определяемой скоростью вращения диска, а из буфера они могут считываться другими устройствами с максимальной скоростью шины.

Как следует из предыдущего изложения, функционирование винчестера – это достаточно сложный процесс, поэтому важную роль играет дисковый контроллер, обеспечивающий эффективную работу диска и интерфейс, то есть взаимодействие между ним и системной шиной. Контроллер или адаптер представляет собой микросхему, которая может содержать свой микропроцессор и управлять работой одного или нескольких дисков. Основными функциями контроллера являются отработка команд чтения, записи и форматирования, управление движением головок, обнаружение и исправление возможных ошибок, устранение поврежденных секторов, преобразование байтов, считываемых из памяти, в непрерывный поток битов и наоборот, организация буферизации и кэширования секторов. Схема соединения контроллера с системной шиной приведена на рисунке 6.8.



**Рис. 6.8.** Соединение дисков с системной шиной

Со стороны аппаратной части компьютера диск представляется в виде совокупности секторов, адресуемых определенным образом, причем каждый сектор записывается или считывается только целиком. Однако для прикладных программ гораздо важнее возможность работы с *файлами*, которые могут занимать не обязательно целое количество секторов, поэтому любая операционная система обязательно содержит *файловую систему*, связанную с логической структурой диска.

Со стороны операционной системы жесткий диск и другие устройства дисковой памяти представляются как набор *логических дисков*, каждому из которых присваивается свое логическое имя. На одном винчестере могут располагаться несколько логических дисков, каждый из которых является совокупностью секторов с последовательно возрастающими номерами. Первый сектор логического диска является *загрузочным*, в нем содержится описание параметров диска и файловой системы. Если в нем хранится также *загрузчик* операционной системы, а ее файлы находятся на самом диске, то такой логический диск называется *системным*.

Физический жесткий диск может быть разбит на несколько независимых *разделов*, что уменьшает размеры логических дисков и приводит к более рациональному использованию дискового пространства. Разбиение жесткого несъемного диска на разделы производится и в том случае, если пользователь

хочет, чтобы на его компьютере было несколько операционных систем. Информация о структуре такого диска содержится в таблице разделов, формирование которой является операцией *конфигурирования* жесткого диска.

Итак, структура логического диска может иметь, например, такой вид. Он начинается с загрузочного сектора, после которого располагаются одна или несколько копий *таблицы размещения файлов* (File Allocation Table – FAT), *корневой каталог* и область данных. Низкоуровневое форматирование, о котором речь шла выше, обеспечивает формирование на каждой дорожке наборов секторов и их заголовков. При форматировании верхнего уровня осуществляется инициализация областей логического диска, причем каждый раздел, содержащий логический диск, форматируется отдельно. Естественно, что до этого диск должен быть сконфигурирован – разбит на разделы.

*Область данных* представляет собой набор пронумерованных *кластеров* – групп смежных секторов. Размер кластера, то есть количество входящих в него секторов, выбирается кратным степени двойки и зависит от объема диска и размера FAT. Если файл занимает более одного кластера, а это всегда целое число, то все они образуют *цепочку* последовательно размещенных друг за другом кластеров. Ясно, что обращение к такому файлу осуществится гораздо быстрее, чем к файлу, фрагменты (кластеры) которого размещены в разных частях диска. Файл последнего вида является *фрагментированным*. Процедура его упорядочения, повышающая производительность файловой системы, – *дефрагментация диска*, которая выполняется специальными утилитами (SPEEDDISK, DEFRAG) и заключается в собирании разрозненных фрагментов файлов в единую и непрерывную (по возможности) цепочку смежных кластеров.

Следует рассмотреть еще одну проблему, возникающую при работе файловой системы. В результате сбоя аппаратуры на диске могут образоваться *потерянные* кластеры или цепочки, не принадлежащие файлу,

так как на них нет ссылки из каталога, но помеченные как занятые. Такие кластеры также выявляются специальными утилитами (NDD, SCANDISK), после чего они помечаются как свободные кластеры или преобразуются в файлы путем формирования на них ссылки из корневого каталога. Эти же утилиты, используя информацию копий FAT и элементов каталогов, обнаруживают и ликвидируют пересечение цепочек кластеров.

### 6.2.2. Разновидности дисковых устройств

Первые НЖМД появились более четверти века тому назад. Естественно, что за прошедший период постоянно усовершенствовались конструкции и технологии производства этих популярных устройств внешней памяти прямого доступа. Сначала контроллер диска размещался на отдельной плате и мог управлять работой двух дисковых устройств.

Начиная с **IDE-дисков** (Integrated Drive Electronics – устройство со встроенным контроллером), разработанных для шины персонального компьютера IBM PC, контроллер стал встраиваться на печатную плату в корпусе винчестера. Емкость такого диска составляла 528 Мбайт, что для середины 80-х годов прошлого века было очень большой величиной.

Затем появились диски еще большего объема с другой геометрией (другим количеством головок, секторов и цилиндров), что сильно затрудняло работу операционных систем. В результате была реализована расширенная версия этого интерфейса, ставшая в настоящее время всеобщим стандартом, – **EIDE-диски** (Enhanced IDE – усовершенствованные IDE) или **ATA-диски** (Advanced Technology Attachment – технологически усовершенствованное подключение). Такие диски могут подключаться к шине PCI, применяемой в различных персональных компьютерах, их контроллеры могут управлять работой четырех дисков, а также приводом для чтения компакт-дисков.

Однако следует отметить, что в случае параллельного использования двух дисков каждому из них требуется свой контроллер.

Дальнейшие работы в этом направлении привели к появлению **SCSI-дисков** (Small Computer System Interface – интерфейс малых вычислительных систем), имеющих более высокую скорость передачи данных, до 80 Мбайт/с. Их интерфейс позволяет подключаться к стандартной шине SCSI, а она эффективнее шины PCI, поскольку поддерживает параллельный доступ к нескольким дисковым и другим периферийным устройствам. Один контроллер может управлять работой до семи дисков для 8-битной шины SCSI и до пятнадцати дисков для 16-битной шины SCSI. Эти диски нашли широкое применение в компьютерах, работающих в качестве файл-серверов.

Наконец, из устройств рассматриваемого класса следует отметить **RAID-диски** (Redundant Array of Inexpensive Disks – избыточный массив недорогих дисков, затем буква I в этом сокращении стала соответствовать слову Independent – независимый), имеющих высокую производительность в сочетании с надежным хранением больших массивов информации. Дело в том, что разрыв между производительностями процессоров и дисков по-прежнему не сокращается, а лишь увеличивается, так как усовершенствования в области производства дисков приводят главным образом к увеличению их емкости, а время доступа все еще измеряется в миллисекундах. Для решения различных задач были предложены 6 систем хранения данных, так называемые RAID-массивы, в состав каждой из которых входят несколько дисковых устройств, работающих параллельно, что позволило увеличить как объем и быстродействие этих систем хранения информации, так и надежность их функционирования. Реализация предложенного подхода осуществляется следующим образом. Компьютер, работающий в качестве большого сервера, получает доступ к боксу с дисками, снабженному RAID-контроллером, а данные копируются в RAID-массивы так, чтобы могли выполняться параллельные операции. В боксе

обычно размещается набор SCSI-дисков, а операционная система воспринимает их как один большой диск.

### **6.2.3. Гибкие магнитные диски – дискеты**

Накопители на *гибких магнитных дисках* (НГМД) или дискеты (английский эквивалент их сокращенного названия FDD – Flexible или Floppy Disk Drive) появились вместе с первыми персональными компьютерами как средство хранения и распространения информации. Их устройство соответствует схеме дискового накопителя, представленной на рисунке 6.7. Первоначально дискеты диаметром 5,25 дюйма или 133 мм помещались в мягкие конверты; максимальная емкость этих НГМД составила всего 1,2 Мбайт, и уже давно они вышли из обращения. Им на смену пришли гибкие дискеты диаметром 3,5 дюйма или 90 мм (считается, что их диаметр подбирался под размер нагрудного кармана рубашки), размещаемые в жестких пластмассовых конвертах, поэтому они лучше защищены от пыли и деформации. Эти дискеты имеют емкость 1,44 Мбайт, 80 дорожек, 18 секторов на дорожке, 2 головки записи/чтения, которые в рабочем положении прижимаются к поверхностям пружинами, и частоту вращения 300 оборотов в минуту. Емкость этого типа дискет остановилась на величине 2,88 Мбайт. Ее дальнейшее наращивание связано с увеличением числа дорожек, а это требует точного позиционирования головок, что невозможно обеспечить обычным шаговым двигателем. Следует подчеркнуть, что в 2001 году вышел стандарт, в соответствии с которым и эти дискеты заканчивают свое существование, так как в новые персональные компьютеры не будут устанавливаться приводы для работы с ними.

Тем не менее, необходимо упомянуть две разработки в этой области, которые позволили существенно увеличить емкость НГМД. Оказалось, что

решение проблемы заключается в совмещении технологии магнитной записи/чтения и технологии оптического позиционирования, в результате чего появились *гибкие магнитооптические диски* сверхвысокой плотности. Это накопители **LS-120** (Laser Servo) с емкостью дискеты в 120 Мбайт и накопители **ZIP**, имеющие емкость дискеты в 100 и 250 Мбайт, которые широко используются в качестве устройств архивации и обмена данными. Дальнейшим развитием накопителей ZIP явились устройства **JAZ** на твердом носителе емкостью до 2 Гбайт, но об этом речь пойдет в следующем разделе.

#### 6.2.4. Магнитооптические диски

В накопителях с *магнитооптическими дисками* (МОД, MOD – Magneto-Optical Drives) запись и чтение информации осуществляет *лазер*. Здесь также есть шпиндель, вращающий диск, и головка с оптической системой, фокусирующей луч лазера на магнитном слое диска, поверх которого нанесен защитный слой. Головка перемещается системой позиционирования над поверхностью диска на расстоянии примерно 1 мм, что исключает ее касание поверхности, поэтому надежность хранения записанной информации весьма высока. На поверхности защитного слоя луч образует пятно размером также около 1 мм, которое за счет фокусировки уменьшается на магнитном слое до нескольких микрон – отсюда малая критичность МОД к пылинкам и микроцарапинам при высокой плотности записи.

При *записи* информации используется термомагнитный способ, так как магнитное поле, создаваемое головкой, перемагничивает микронную зону магнитного слоя, которая лучом лазера предварительно нагревается до температуры около 200° С и затем «запоминает» приобретенное состояние. Применяются несколько режимов записи: одно-, двух- и трехпроходные. Наиболее прогрессивной с точки зрения скорости записи является, конечно,

однопроходная запись, однако для ее реализации необходимы диски более сложной структуры – с несколькими магнитными слоями, которые различаются своими свойствами. Чаще используют режим двухпроходной записи. Сначала, после позиционирования головки и выбора нужного сектора (или секторов), содержимое этого сектора стирается, так как головка создает постоянное магнитное поле, а лазер работает на полную мощность – в результате магнитный слой всего сектора оказывается с одним направлением намагниченности. Собственно запись осуществляется во время второго оборота: головка меняет направление магнитного поля на противоположное, а мощные импульсы лазера формируются над теми зонами, состояние которых надо изменить, то есть перемагнитить. Для повышения достоверности записи на третьем обороте производится *верификация* – чтение таким способом записанной информации.

*Считывание* выполняется при малой мощности излучения лазера и основано на изменении поляризации света под воздействием магнитного поля. Отраженный луч, проходя через поляризационную оптику, поступает на *фотоприемник*, причем его интенсивность модулирована по амплитуде в зависимости от информации, записанной на магнитном носителе. Необходимо подчеркнуть, что плотность хранения информации определяется именно возможностями оптики и фотоприемника, поскольку не удастся считывать мельчайшие зоны, запись которых в принципе осуществима при данной технологии. Существуют методы повышения разрешения при считывании, но они также ведут к усложнению изготовления дисков.

Низкоуровневое *форматирование* МОД осуществляется в процессе их производства; это же с помощью специальной утилиты может сделать и пользователь, если на диске обнаруживается значительное число ошибочных зон. Форматирование МОД на верхнем уровне выполняется как в стиле дискет, так и в стиле винчестера – ясно, что в первом случае диск



воспринимается операционной системой как очень большая дискета, а во втором случае он выглядит для нее как жесткий диск.

Как и у обычных магнитных дисков, у МОД есть дорожки, нумерация которых правда идет от центра. Дорожки разбиваются на стандартные сектора (512 байт), размер которых может быть и больше – 2Кбайт, их количество на дорожке переменное (уменьшается к центру). Встроенный контроллер МОД преобразует физическую геометрию с зонным форматом в логическую структуру, он имеет также средства для переназначения дефектных областей.

Двусторонние МОД имеют диаметр 5,25 дюйма и емкость до 4,6 Гбайт, односторонние – 3,5 дюйма и 1,3 Гбайт соответственно. Последние по своим скоростным характеристикам считывания информации находятся между упомянутыми накопителями типа ZIP и JAZ. Магнитооптические накопители устойчивы к магнитным полям, солнечному свету, перепадам температур и вибрации, поэтому они также находят широкое применение в качестве средств архивации данных и обмена информацией.

### **6.2.5. Оптические диски**

В настоящее время *оптические диски* широко используются в вычислительной технике как средства хранения информации, хотя их первые образцы были разработаны для записи телевизионных программ, а сейчас они применяются также и в аудиосистемах. *Компакт-диск* (CD, Compact Disk) имеет стандартные размеры: его диаметр 120 мм, толщина 1,2 мм, диаметр отверстия в середине 15 мм. В процессе его изготовления важную роль играет мощный инфракрасный лазер, выжигающий отверстия диаметром 0,8 микрон в стеклянном контрольном диске, по которому делается шаблон с выступами в тех местах, где лазер прожег отверстия. В

этот шаблон вводится жидкая смола (поликарбонатный пластик), являющаяся прозрачной основой, на нее наносится тонкий слой отражающего алюминия, который покрывается защитным акриловым лаком, сверху обычно наклеивается этикетка. В результате получается компакт-диск с теми же отверстиями, что и в контрольном диске, причем углубления в поликарбонатном пластике являются *впадинами*, ровные поверхности между ними – *площадками*, а располагаются они *по спирали*, идущей от центра диска к его наружному краю. Это единственная физическая дорожка диска, но по аналогии с магнитными дисками каждый ее 360-градусный фрагмент рассматривается как отдельная дорожка. Данные хранятся на дорожках, находящихся на расстоянии 25 – 58 мм от центра, а их общая длина составляет более 5 км, то есть на миллиметр радиуса диска приходится примерно 600 дорожек, что существенно больше плотности магнитных дисков и дискет.

Оптическая технология воспроизведения информации, записанной на компакт-диске, реализуется с помощью маломощного лазера, который располагается со стороны поликарбонатной основы, поэтому для него впадины представляются выступами на ровной поверхности. Лазерный луч, состоящий из синхронизированных волн одинаковой длины, направляется в сторону вращающегося диска и, отражаясь от впадин, высота которых равна четверти длины волны луча лазера в прозрачной основе, или площадок, поступает на *фотодетектор*. Длина волны луча, отраженного от впадины, равна половине длины волны света, отраженного от площадки, поэтому в первом случае детектор получает меньше света, чем во втором. Следовательно, так можно отличать впадины от площадок, используя их для записи 0 и 1, однако для кодирования информации применяется более надежный вариант.

Дело в том, что если объединить два одинаковых луча, поступающих на детектор, в одной фазе, получится более яркий луч, а если они окажутся

сдвинутыми на полфазы, то погасят друг друга. Следовательно, в одном случае он зафиксирует яркое пятно, а в другом – темное. Как раз это и происходит на границе впадины: волна, отраженная от нее, смещается по фазе на  $180^\circ$  относительно волны, отраженной от площадки, в результате чего они гасят друг друга. Поэтому переходы впадина/площадка или площадка/впадина кодируются единицей, а ровные поверхности – нулем.

Важными особенностями компакт-дисков, во-первых, является переменная скорость их вращения: чтобы впадины и площадки сменялись с постоянной линейной скоростью, скорость вращения диска должна уменьшаться при перемещении головки к внешнему краю диска. Во-вторых, это односторонние диски, что следует из описанной технологии их изготовления.

Первые компакт-диски, ориентированные на запись и хранение информации в двоичном формате, имели стандартную емкость 650 Мбайт и обозначение **CD-ROM**, поскольку после записи при производстве диска их содержимое можно было только считывать, как и в ПЗУ. Данные на дорожках организуются в секторы, число которых переменное: чем ближе к краю диска дорожка, тем больше на ней секторов. Существует несколько форматов секторов, в соответствии с одним из них сектор содержит 2Кбайт данных, а его размер равен 2352 байт. Остальное место занимает служебная информация: 16-байтовый заголовок и 288 байт для коррекции ошибок. Базовая скорость, с которой дисководы вращают диски CD-ROM, равна 75 секторам в секунду, что при упомянутом формате соответствует скорости пересылки данных 150 Кбайт/с. Сорокаскакоростной дисковод CD-ROM пересылает данные со скоростью 6 Мбайт/с, но и она гораздо ниже аналогичной характеристики магнитных дисков, как и время доступа. Тем не менее, эти устройства внешней памяти, производительность которых значительно ниже, чем у магнитных дисков, благодаря своей большой емкости и малой цене широко используются для распространения

программного обеспечения, энциклопедий, справочников, компьютерных игр, фильмов и т. п.

В конце прошлого века появились оптические диски, допускающие *однократную запись* информации пользователем – **CD-R** (CD-Recordable – записываемый компакт-диск). Они не серебристого, как обычные диски, а золотистого цвета, поскольку в них в качестве отражающего слоя вместо алюминия используется золото. Однако главное отличие заключается в том, что между слоем поликарбонатной основы и отражающим слоем золота в процессе их производства помещается прозрачный слой органического красителя (разумеется, спиральная дорожка также наносится на такой диск). При записи информации области красителя нагреваются мощным лучом лазера, что приводит к изменению их молекулярной структуры и потемнению. При чтении фотодетектор различает темные и прозрачные пятна красителя, где он был поврежден и не тронут лучом соответственно, что воспринимается как различие между впадинами и площадками у обычных компакт-дисков. К сожалению, с выходом на рынок записываемых компакт-дисков появилась возможность легкого копирования компьютерных и музыкальных дисков с нарушением авторских прав, поэтому были реализованы различные способы, затрудняющие выпуск пиратской продукции.

Затем появились диски, допускающие *многократную запись* информации пользователем – **CD-RW** (CD-ReWritable – перезаписываемый компакт-диск). У них вместо красителя в качестве записывающего слоя используется сплав серебра, индия, сурьмы и теллура, который может находиться в кристаллическом и аморфном состояниях, обладающих разной отражательной способностью. Лазер такого компакт-диска работает в трех режимах. При высокой мощности он расплавляет сплав и переводит его из естественного кристаллического состояния в аморфное состояние с низкой отражательной способностью, что соответствует впадине. При средней

мощности лазера сплав переходит опять в кристаллическое состояние с высокой отражательной способностью, и впадина снова превращается в площадку. При низкой мощности никакого перехода состояний не происходит, этот режим лазера используется для считывания информации, так как в этом случае лишь определяется состояние сплава. В заключение надо отметить, что современные диски CD-RW выдерживают до одной тысячи перезаписей.

Наконец рассмотрим диски **DVD** (Digital Versatile Disk – цифровой универсальный диск), также появившиеся в конце прошлого века. Первоначальная задача технологии DVD заключалась в создании диска, способного хранить на одной стороне полнометражный фильм, и она была успешно решена с появлением диска объемом 4,7 Гбайт. Это было достигнуто за счет применения красного лазера с меньшей длиной волны вместо инфракрасного лазера, получения впадин в два раза меньшего размера и большей плотности дорожек (также примерно в два раза). Дальнейшее развитие технологии DVD привело к созданию односторонних двухслойных, двусторонних однослойных и двусторонних двухслойных дисков емкостью 8,5, 9,4 и 17 Гбайт соответственно. В двухслойном диске дорожки наносятся на два слоя: над нижним отражающим слоем помещается второй полупрозрачный слой, а луч лазера в зависимости от его фокусировки при считывании информации отражается от одного из слоев. Двусторонние диски образуются склеиванием двух односторонних дисков, каждый из которых имеет толщину 0,6 мм. Такая структура напоминает сэндвич, поскольку при этом верхний диск перевернут относительно нижнего.

#### **6.2.6. Накопители на магнитных лентах**

В отличие от рассмотренных устройств дисковой памяти *накопители на магнитных лентах* (НМЛ) являются устройствами *последовательного доступа*, хотя принципы хранения информации на ленте те же, что и на магнитном диске. Хранимая в НМЛ информация также организована в блоки постоянной или переменной длины, которые имеют последовательные адреса. Чтобы получить доступ к требуемому блоку, устройству сначала необходимо выполнить последовательное *холостое чтение* предыдущих блоков и только после этого осуществить собственно обмен данными. Зато НМЛ являются самыми дешевыми устройствами внешней памяти, поэтому они широко используются для хранения больших объемов архивной информации, к которой не требуется оперативного доступа, а также для резервного копирования содержимого жестких дисков.

Магнитный слой наносится на тонкую пластиковую ленту шириной в половину или четверть дюйма. Биты, соответствующие одному символу, записываются поперек ленты, то есть перпендикулярно направлению перемотки. Для каждой битовой позиции (или дорожки ленты) выделяется своя головка чтения/записи, поэтому данные записываются или считываются в *параллельном коде*, причем один разряд используется для контроля четности.

Данные организуются в виде *записей*, которые объединяются в *файлы*. Начало файла выделяется его меткой, за которой следует запись, используемая как заголовок или идентификатор файла, что позволяет находить на ленте, содержащей большое количество файлов, требуемую информацию. Аналогичным образом с помощью метки ленты определяется ее начало, конец ленты также идентифицируется определенным символом. Если при форматировании ленты организуются записи фиксированной длины, то их можно обновлять, но лента используется неэффективно. При

формировании записей переменной длины их нельзя обновлять, но лента используется эффективнее.

Основной функцией *контроллера* НМЛ является, конечно, выполнение операций записи и чтения. Кроме этого, он обеспечивает стирание информации с ленты, запись ее метки, перемотку ленты в различных режимах: на начало ленты, на одну запись или файл вперед или назад.

В персональных компьютерах используются накопители на кассетной магнитной ленте – *картриджи*, емкость некоторых из них при сжатии данных достигает 16 Гбайт. Лентопротяжные механизмы картриджей называются *стриммерами*. Разработаны системы автоматической загрузки и выгрузки картриджей, которые позволяют без помощи оператора скопировать данные с жесткого диска емкостью в десятки гигабайт.

## *Контрольные вопросы*

1. Каков состав компьютерных запоминающих устройств?
2. Что содержит внутренняя память компьютера?
3. Чем характеризуется компьютерная память?
4. Какие способы адресации байтов в словах применяются в компьютерах?
5. Как память связана с процессором при обмене данными?
6. Чем динамическая память отличается от статической памяти?
7. Для чего нужна кэш-память и как она функционирует?
8. Каково основное свойство постоянной памяти?
9. Какие существуют разновидности полупостоянной памяти?
10. Что такое виртуальная память и как она организована?
11. Какие устройства образуют внешнюю память компьютера?
12. Как устроен накопитель на жестком магнитном диске?
13. Как диски соединяются с системной шиной?
14. Что такое кластер?
15. Как происходит эволюция дисковых устройств?
16. Почему дискеты прекращают свое существование?
17. Как осуществляется запись и считывание данных в магнитооптических дисках?
18. Какова технология изготовления оптических дисков?
19. Чем накопители на магнитных лентах принципиально отличаются от дисковой памяти?



## 7. Передача информации

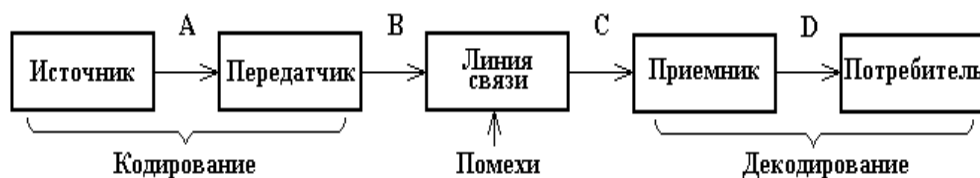
### 7.1. Модель системы передачи информации

Информация всегда может быть представлена в виде некоторого сообщения, которое передается определенной *физической средой*. Под передачей информации можно понимать процесс ее распространения от *источника* к *потребителю*.

Рассмотрим простой пример. Общаются два человека: один говорит, а другой слушает его. Движения губ, языка и голосовых связок говорящего вызывают колебания воздушной среды, которые достигают ушной раковины слушателя. Его слуховой механизм, кроме того, включает в себя барабанную перепонку, молоточек и наковальню, движение которых приводит к возникновению электрических сигналов. Последние поступают в кору головного мозга слушателя, и он понимает смысл того, что практически в данный момент говорит ему собеседник.

Следует подчеркнуть, что в этом примере источник и *передатчик* информации – это одно и то же лицо, то есть говорящий человек. Аналогичным образом дело обстоит и в отношении слушателя: он является одновременно *приемником* и потребителем полученной информации. Однако так бывает далеко не всегда. Гораздо чаще возникшую информацию необходимо преобразовать, чтобы подготовить ее к передаче; точно так же полученное сообщение должно быть преобразовано, чтобы стать понятным получателю. Строго говоря, в нашем примере функции возникновения и передачи мысли, так же как получения и восприятия сообщения, выполняют различные органы человека, но в рассматриваемом процессе участвуют лишь двое.

Таким образом, в самом общем случае модель системы передачи информации имеет вид, представленный на рисунке 7.1.



**Рис. 7.1.** Модель системы передачи информации

Источник информации осуществляет кодирование информационного сообщения путем устранения присутствующей в нем избыточности и преобразует его в первичный электрический сигнал, формируя сообщение  $A$  на входе системы передачи. Например, буквы алфавита любого языка передаются с помощью двух символов – 0 и 1 – нового алфавита, имеющего меньший объем.

Передатчик готовит поступившее сообщение к передаче по определенной линии связи, преобразуя его в сигнал  $B$  на ее входе. При этом может осуществляться помехоустойчивое кодирование, так как в реальных условиях передачи всегда необходимо учитывать наличие помех, искажающих передаваемый сигнал. Такое кодирование заключается во введении избыточности в кодовую комбинацию первичного сигнала, о чем мы поговорим при рассмотрении корректирующих кодов. Отметим также, что первичный низкочастотный электрический сигнал  $A$  обычно преобразуется в передатчике во вторичный высокочастотный сигнал  $B$ , который и передается по линии связи.

Сигнал  $C$  на выходе линии связи, поступающий на вход приемника, из-за помех может отличаться от переданного сигнала. Задача приемника состоит в формировании сообщения  $D$  на выходе системы передачи, то есть в

обработке принятого сигнала, его декодировании и восстановлении по нему переданного сообщения, соответствующего исходному информационному сообщению  $A$ , которое и поступает потребителю.

Наконец, потребитель информации, получив сообщение, то есть кодовую комбинацию символов первичного сигнала, в свою очередь сначала преобразует его, осуществляя декодирование, после чего оно превращается в соответствующую информацию, которая и была предназначена для получателя.

Рассмотренная обобщенная модель системы передачи информации может различаться в деталях при организации разных систем связи. Например, в телеграфии при передаче текстовых сообщений упомянутые сообщения  $A$  и  $D$  на входе и выходе системы передачи записываются с помощью буквенного алфавита на одном и том же языке, а различия между ними могут возникнуть только в результате искажений в процессе передачи под воздействием помех. Сигналы же  $B$  и  $C$  на входе и выходе линии связи (при этом также надо учитывать наличие помех) являются последовательностями элементарных электрических сигналов – чаще всего посылок тока и пауз. Следовательно, операции кодирования и декодирования в этом случае заключаются, в том числе, и в преобразовании буквенного сообщения  $A$  в последовательность элементарных сигналов  $B$  и в обратном переходе от принятой последовательности сигналов  $C$  к буквенному сообщению  $D$ .

В телефонии сообщение  $A$ , имеющее характер звука, представляет собой определенные колебания давления, которые на этапе кодирования только преобразуются в колебания электрического тока  $B$ , а при декодировании осуществляется обратное преобразование принятых колебаний тока  $C$  в звук  $D$ .

Наконец рассмотрим приведенную модель системы передачи информации применительно к компьютеру. Сообщение на входе  $A$  является

определенной последовательностью чисел, на этапе кодирования которого оно преобразуется в соответствующую последовательность электрических сигналов  $B$ , непосредственно вводимых в машину. «Декодирование» же в данном случае состоит в преобразовании поступивших в компьютер сигналов  $C$ , которые являются «суммой» принятых сигналов и искажений при вводе. В результате получается новое сообщение  $D$  как ответ на задачу, решаемую машиной. Ясно, что в этом случае последнее сообщение  $D$  принципиально отличается от сообщения  $A$ , и преобразование  $A$  в  $D$  – основная цель данной «линии связи».

Таким образом, полная информационная модель передачи информации в реальных условиях включает в себя передатчик, кодирующее устройство, *кодер* канала, *канал связи*, *декодер* канала, декодирующее устройство и приемник. Передатчик преобразует поступающее от источника сообщение в сигнал для передачи по каналу, приемник осуществляет обратное преобразование сигнала в сообщение для потребителя. Для согласования характеристик передатчика и приемника с характеристиками канала связи вводятся соответствующие устройства. Кодирующее устройство устраняет избыточность входной информации, что уменьшает среднее число символов в сообщениях. Кодер канала обеспечивает достоверность передачи при наличии помех путем введения избыточности. В итоге имеем устранение избыточности с последующим перекодированием помехоустойчивым кодом. При малой избыточности и отсутствии помех в канале введение обоих устройств нецелесообразно, конечно, возможны и другие реальные ситуации, которые обосновывают их наличие. Декодирующее устройство и декодер канала осуществляют обратные преобразования.

Итак, протекание процесса передачи и приема или распространения информации обеспечивают источник, передатчик, физическая среда (канал, линия связи), приемник и потребитель. В ходе изложения материала с разной степенью детализации вы ознакомитесь с устройством и функционированием

каждого из них. Многообразие информации, а также форм представления данных предполагает и множественность средств их передачи. В этой главе мы ограничимся, в основном, изучением способов передачи данных в виде электрических сигналов между различными блоками компьютера и между самими компьютерами, поскольку именно эти современные устройства превратились в основной, мощный инструмент обработки и передачи разнородной информации.

## 7.2. Каналы и линии связи

Под *каналом связи* будем понимать технические средства, которые обеспечивают распространение электрических сигналов от передатчика к приемнику. *Линия связи* – это физическая среда, обеспечивающая передачу информации. По своей природе линии делятся на механические, акустические, оптические и электрические (проводные и беспроводные). Мы сосредоточим свое внимание на электрических и оптических линиях.

Математическая модель описания реальных линий передачи с учетом их статистических свойств имеет вход и выход, служит для преобразования входных сообщений в выходные и характеризуется случайным процессом (последовательностью) на входе и распределением вероятностей преобразования входных сигналов в выходные, отражающим характер возможных искажений при передаче информации.

В настоящее время в вычислительных системах в качестве передающей среды используются выделенные телефонные линии, радиоканалы, каналы спутниковой связи, специальные каналы передачи цифровой информации, а также витая пара проводов, коаксиальный и оптоволоконный кабели. Тип канала, помимо прочего, определяет характер и величину помех, которые

неизбежно возникают при передаче информации. Рассмотрим его основные характеристики.

### 7.2.1. Характеристики каналов связи

*Скорость передачи*  $V$  определяется количеством информации  $I$ , переданной за время  $T$ , и имеет размерность бит/с, то есть

$$V = I / T.$$

Предельное значение скорости передачи называется *пропускной способностью*  $C$  или *емкостью* канала связи и имеет размерность бит/с или бод, то есть

$$C = \lim_{T \rightarrow \infty} (I / T).$$

Вообще говоря, бит/с и бод – разные размерности. Если различают только два состояния сигнала при любом его изменении, то это несет минимальное количество информации – один бит. Если же различают более двух состояний, то любое изменение сигнала соответствует нескольким битам информации. Бод определяет число изменений информационного параметра в секунду, а каждое такое изменение может соответствовать нескольким битам, поэтому реальная скорость в битах в секунду в общем случае не совпадает с количеством бод.

Максимально возможная пропускная способность идеального канала связи определяется формулой Шеннона – пожалуй, основным соотношением теории информации:

$$C = F \cdot \log_2(1 + W_c / W_u),$$

где  $F$  – полоса пропускания канала (Гц);

$W_c$  и  $W_u$  – мощности сигнала и шума соответственно (Вт).

Необходимо отметить, что у реального канала связи всегда меньшая полоса пропускания из-за ряда неучтенных ограничений. Однако, используя

приведенную формулу, можно рассчитать верхний теоретический предел значения  $C$ .

Анализируя данное выражение, можно сделать следующие выводы. При высоком уровне шумов ( $W_u \gg W_c$ ) максимальная пропускная способность  $C$  близка к нулю.  $C$  растет быстрее с ростом  $F$ , чем с увеличением отношения  $W_c / W_u$ . Наконец, для обеспечения  $C = \text{const}$  при сужении полосы пропускания  $F$  необходимо увеличивать мощность сигнала  $W_c$ , и наоборот.

*Полоса пропускания* канала представляет собой диапазон частот, для которых отношение амплитуды сигнала на выходе канала к амплитуде входного сигнала больше некоторой заданной величины, например 0,5. Таким образом, эта характеристика определяет диапазон частот, при которых сигнал передается без существенных искажений.

*Затухание* есть относительное уменьшение амплитуды или мощности передаваемого по каналу сигнала определенной частоты. Обычно эта характеристика измеряется в децибелах (дБ).

*Амплитудно-частотная характеристика* демонстрирует изменения амплитуд выходного сигнала по сравнению с амплитудами входного сигнала для всех частот полосы пропускания канала.

Эти три канальные характеристики определяются на основе реакции канала связи на эталонное воздействие, в качестве которого обычно используются синусоидальные сигналы разных частот.

Пропускная способность канала связи существенно зависит от способов логического и физического кодирования передаваемой информации. При логическом кодировании исходная последовательность бит информации заменяется новой более длинной последовательностью бит. Это приводит к уменьшению пропускной способности, однако вводимая избыточность лежит в основе построения корректирующих кодов (о чем речь пойдет ниже), которые позволяют обнаруживать и даже исправлять ошибки, возникающие при передаче информации. При физическом кодировании предназначенная

для передачи дискретная информация представляется в виде сигналов того или иного типа, поступающих в канал связи. Ясно, что выбранный способ такого кодирования влияет на спектр передаваемого сигнала и, в конечном итоге, на пропускную способность канала.

Чтобы канал связи при передаче информации использовался наиболее эффективным образом, необходимо согласовывать скорость передачи с пропускной способностью, то есть обеспечить выполнение условия

$$V \leq C.$$

При этом желательно, чтобы скорость передачи была как можно ближе к пропускной способности. Если же указанное условие не выполняется, то есть скорость поступления информации на вход канала связи больше его пропускной способности, то в этом случае по каналу будет передана не вся информация.

Такое согласование и осуществляется путем соответствующего кодирования информационных сообщений, которое называется также статистическим кодированием. К. Шеннон связал способ кодирования сообщений со скоростью их передачи по каналам и вероятностью возникновения при этом искажений. Он доказал, что при отсутствии шумов всегда можно закодировать сообщения так, чтобы информация передавалась самыми короткими кодовыми словами. При наличии же помех можно передавать информацию без потерь. Для таких каналов, если скорость передачи не больше пропускной способности, всегда существует способ кодирования, при реализации которого информация будет передаваться со сколь угодно малой вероятностью ошибок. Важно отметить, что при этом скорость передачи может не убывать, несмотря на введение избыточности.

Таким образом, пропускная способность канала связи – это верхнее значение скорости передачи информации по всем возможным распределениям сообщений на входе канала. Распределение вероятностей сообщений на выходе канала при известном сообщении на его входе является



фиксированной характеристикой канала. Следовательно, для канала с заданной пропускной способностью всегда можно подобрать распределение сообщений на входе, для которого скорость передачи информации будет сколь угодно мало отличаться от значения его пропускной способности, при этом вероятность ошибки хотя бы в одном символе в течение любого фиксированного отрезка времени можно сделать сколь угодно малой. Знание пропускной способности, которая вычислена в явном виде только в частных случаях, позволяет сравнивать и оптимизировать *коды*, используемые для отображения заданного множества сообщений в множество сообщений, поступающих на вход канала.

*Достоверность* передачи информации определяется вероятностью ошибочного приема информационного символа –  $P_{ош}$ . Другими словами, эта характеристика есть отношение числа ошибочно принятых знаков к общему количеству переданных знаков и обычно составляет для каналов величину порядка  $10^{-6}$  (в оптоволоконных линиях связи она равна  $10^{-9}$ ). Таким образом, если  $P_{ош} = 10^{-6}$ , то в среднем из миллиона переданных бит информации один бит окажется ошибочным.

*Надежность* передачи определяется средним временем безотказной работы и для вычислительных сетей обычно составляет, как минимум, несколько тысяч часов.

### 7.2.2. Типы линий связи

Линии связи, являющиеся составной частью любого канала, как уже отмечалось, можно классифицировать по типу физической среды, которая осуществляет передачу сигнала от передатчика к приемнику. В низко- и среднескоростных каналах связи в качестве передающей среды, как правило, используются группы параллельных или скрученных проводов, называемых

витой парой. Скручивание проводов (соответствующая характеристика называется шагом скручивания) уменьшает влияние внешних электромагнитных полей на процесс передачи информации. В широкополосных каналах применяются коаксиальные и оптоволоконные кабели, радиоволноводы, а также беспроводные радиоканалы связи.

*Кабельные линии*, применяемые в современных системах связи, представляют собой группу проводов, заключенных в одну или несколько защитных оболочек, которые обеспечивают механическую, электрическую и электромагнитную защиту.

*Витая пара*, состоящая из двух изолированных медных проводников, может быть неэкранированной или экранированной. В первом случае такой кабель имеет самую слабую помехозащищенность и низкую скорость передачи. Линии связи обычно не длиннее ста метров, так как затухание сигнала при его прохождении по кабелю слишком велико. С другой стороны, дешевизна, легкость монтажа концевых разъемов и простота ремонта делают эти линии достаточно популярными при формировании локальных вычислительных сетей. Наилучшие в настоящее время кабели данного типа обеспечивают передачу данных в полосе частот до 100 и до 400 МГц, а в ближайшей перспективе эта характеристика возрастет до 600 МГц. Осталось отметить, что у обычного телефонного кабеля, являющегося самым простым вариантом таких линий, пары проводов не витые.

В случае экранированной витой пары каждая из них помещается в металлическую оплетку-экран, размещаемую внутри пластмассовой защитной оболочки. При этом существенно снижаются излучения кабеля, воздействия внешних электромагнитных полей и взаимовлияния пар медных проводов, что достигается, однако, за счет значительного увеличения стоимости. Кроме того, при использовании таких линий необходимы специальные экранированные разъемы, поэтому они применяются гораздо реже.

*Коаксиальный кабель* имеет внутренний, центральный проводник, в качестве которого применяется медная жила. Внешний проводник, являющийся внешним экраном, отделен от центрального проводника слоем изоляции, и все это размещено внутри внешней защитной оболочки. Промышленностью выпускаются два типа таких кабелей: тонкий (более современный, гибкий, дешевый, диаметром около 0,5 см) и толстый (классический вариант, более прочный, передающий сигнал на большие расстояния, диаметром около 1 см). Коаксиальный кабель по сравнению с витой парой обладает лучшими параметрами: допустимая скорость передачи информации составляет 50 Мбит/с на расстояние до километра. Кроме того, к такому кабелю значительно труднее подключиться, если пытаться осуществить несанкционированное прослушивание компьютерной сети.

*Оптоволоконный кабель* по своей структуре похож на коаксиальный кабель: он содержит центральное оптическое стеклянное волокно, являющееся проводником света, которое заключено в стеклянное же покрытие, и все это размещается внутри внешней защитной оболочки. Стеклянное покрытие обладает меньшим показателем преломления, чем центральное волокно, поэтому световые лучи, распространяясь по сердцевине и отражаясь от покрытия, не покидают центральный проводник. В зависимости от диаметра последнего и распределения показателя преломления различают три режима распространения лучей света по сердцевине, определяемых термином «мода».

В *одномодовом* кабеле центральное волокно имеет очень малый диаметр, соизмеримый с длиной волны света, поэтому световые лучи распространяются вдоль оптической оси, не отражаясь от внешнего по отношению к нему стеклянного покрытия. В качестве источника излучения света в таких кабелях используются полупроводниковые лазеры.

*Многомодовые* кабели бывают двух типов – со ступенчатым и плавным изменением показателя преломления. В них используются более

технологичные сердечники, диаметр которых примерно на порядок больше, поэтому в центральном проводнике есть несколько путей распространения лучей света, под разными углами отражающихся от стеклянного покрытия. В качестве источника излучения света в таких кабелях используются более дешевые светодиодные излучатели. Полоса пропускания многомодовых кабелей гораздо уже за счет потерь света при отражениях.

Следует отметить, что электрические помехи не оказывают влияния на передачу данных по волоконно-оптическому кабелю, которая ведется со скоростями до 100 Мбит/с.

К *беспроводным* линиям связи, являющимся открытыми средами передачи информации, относятся земная и водная поверхности, атмосфера и космическое пространство. Распространение *радиоволн*, представляющих собой электромагнитные колебания, то есть совокупность переменных электрических и магнитных полей, в таких средах свободно осуществляется в разных направлениях. С увеличением расстояния уровень электромагнитного сигнала, излучаемого источником, постоянно уменьшается; к тому же на него воздействуют естественные помехи.

На распространение радиоволн сильно влияют поверхность Земли и части ее атмосферы – тропосфера и ионосфера, нижняя и верхняя области соответственно. Траектория приземных радиоволн, распространяющихся вдоль земной поверхности и огибающих ее значительные неровности, повторяет профили граничных участков между поверхностью и атмосферой, поскольку эти две области имеют весьма разные электрические параметры. Пространственные волны распространяются в земной атмосфере и за ее пределами. Тропосфера, атмосферный слой высотой до 15-ти км, искривляет траекторию таких радиоволн и частично рассеивает их, причем электрические характеристики тропосферы очень зависят от метеоусловий. Ионосфера, атмосферный слой высотой от 60-ти км до 20-ти тысяч км, оказывает на пространственные радиоволны такое же воздействие, а на ее

электрические параметры существенно влияют время суток и времена года. Область за пределами ионосферы условно можно считать вакуумом, радиоволны в котором распространяются практически прямолинейно.

В зависимости от особенностей распространения в различных пространственных средах спектр радиоволн распределен на 8 диапазонов, представленных в таблице 7.1.

Т а б л и ц а 7.1

### Диапазоны радиоволн

Наименование волн	Условное обозначение	Диапазон частот	Границы диапазона
Мириаметровые	ОНЧ	3 – 30 кГц	10 – 100 км
Километровые	НЧ	30 – 300 кГц	1 – 10 км
Гектометровые	СЧ	300 – 3000 кГц	100 – 1000 м
Декаметровые	ВЧ, КВ	3 – 30 МГц	10 – 100 м
Метровые	ОВЧ	30 – 300 МГц	1 – 10 м
Дециметровые	УВЧ, УКВ	300 – 3000 МГц	10 – 100 см
Сантиметровые	СВЧ	3 – 30 ГГц	1 – 10 см
Миллиметровые	КВЧ	30 – 300 ГГц	1 – 10 мм

Такое распределение, в основу которого положен десятичный принцип классификации радиоволн, произведено в соответствии с рекомендациями Международного консультативного комитета по радио.

*Высокочастотный (ВЧ) или коротковолновый (КВ) диапазон по международным соглашениям отводится специальным службам: мобильная связь, радиовещание, радионавигация, космическая связь и т.д. Волны этого диапазона распространяются (вдоль земной поверхности или отражаясь от ионосферы) на большие расстояния при меньшей мощности излучения, хотя они в значительной мере подвержены влиянию помех.*

*Ультракоротковолновые (УКВ) или радиорелейные системы передачи до недавнего времени пересылали значительную часть телевизионного и*

телефонного трафика, однако сейчас дальнюю связь стали обеспечивать в основном оптоволоконные системы.

*Сверхвысокочастотные* (СВЧ) сигналы могут распространяться в свободном пространстве. Чтобы сигнал перемещался в нужном направлении, а внешние помехи и его потери при этом были минимальными, используются *волноводы*. Такие устройства представляют собой трубки со стальной оболочкой, в которые под давлением закачивается азот или сухой воздух. Это делается для уменьшения влажности, так как влажная среда заметно увеличивает затухание сигнала в СВЧ-диапазоне. Однако в настоящее время для передачи таких сигналов в основном также применяются оптоволоконные кабели.

*Спутниковые* системы передачи пересылают сигналы нескольких типов: телевизионные, телефонные и высокоскоростные. Спутник является ретранслятором, принимая сигналы с наземных станций, усиливая их и отсылая обратно всем станциям в зоне его обслуживания. Коммерческий спутник вращается вокруг Земли с постоянной скоростью на высоте примерно 36 тысяч км на геостационарной орбите, благодаря чему он постоянно находится над одной и той же точкой поверхности. Это позволяет трем равномерно размещенным над экватором спутникам покрывать почти всю земную поверхность от 60° северной широты до 60° южной широты. Низкоорбитальные спутники, эксплуатация которых началась лет 10 назад, ретранслируют сигналы меньшей мощности и используются для обеспечения пейджинговой и международной сотовой связи.

*Мобильная сотовая* радиосвязь развилась в последние 15 лет. Площадь, например крупного города с пригородами, разбивается на ячейки, называемые сотами, каждая из которых обслуживается своей базовой станцией. При перемещении абонента из одной соты в другую его мобильный телефон автоматически переключается на новую базовую станцию. Когда абонент звонит, его мобильный телефон занимает свободный

канал в той соте, в которой он находится. Нужное соединение осуществляется через базовую станцию и центр коммутации, связывающий этого абонента с другим мобильным телефонным аппаратом через радиоканал и другую базовую станцию, в зоне обслуживания которой и находится вызываемый абонент. Кроме того, возможно соединение и через телефонную сеть общего пользования со стационарным телефонным аппаратом.

В зависимости от типа передаваемого сигнала линии связи подразделяются на аналоговые и цифровые. *Аналоговые* линии связи предназначены для передачи аналоговых или непрерывных сигналов, имеющих непрерывный диапазон значений, причем несколько низкоскоростных абонентских линий можно объединить в одном канале. Традиционная область применения таких линий – телефонные сети. *Цифровые* линии связи используются для передачи цифровых или дискретных сигналов, имеющих конечное число состояний. Кроме обмена компьютерными данными по таким линиям могут передаваться оцифрованные звук и изображение.

С точки зрения режимов передачи данных, линии связи делятся на асинхронные и синхронные. *Асинхронный* режим предполагает независимую передачу символов, причем каждый из них передается в свободном темпе и сопровождается служебными сигналами, указывающими на его начало и конец. *Синхронный* режим реализует передачу информации *блоками* символов. Каждый блок передается непрерывно в принудительном темпе и сопровождается служебными кодовыми комбинациями, обеспечивающими синхронизацию передающего и принимающего устройств. Первый вариант передачи обладает существенной избыточностью информации из-за большого числа служебных сигналов. Второй вариант передачи более быстр, так как избыточность информации меньше, но аппаратура для его реализации сложнее.

По направлению передачи данных линии связи подразделяются на три типа. *Симплексные* линии обеспечивают передачу информации только в одном направлении. *Полудуплексные* линии передают данные в обоих направлениях, но в разные промежутки времени. *Дуплексные* линии позволяют одновременно передавать информацию в обоих направлениях.

Наконец, с точки зрения режимов взаимодействия абонентов при установлении соединения между ними, можно выделить две группы линий связи. Оперативный режим взаимодействия *on-line* или «на линии» реализуется в том случае, когда обмен информацией между отправителем и получателем осуществляется без заметных для них временных задержек. Если же такие задержки при обмене информацией весьма велики, то реализуется режим взаимодействия *off-line* или «вне линии».

Классификация рассмотренных типов линий связи представлена на рисунке 7.2.



**Рис. 7.2.** Типы линий связи



### 7.2.3. Аппаратура каналов связи

Основными устройствами, участвующими в процессе распространения информации, в настоящее время, пожалуй, можно считать модемы (в том числе оптические). Кроме них передачу данных обеспечивают сетевые адаптеры, устройства подключения к цифровым каналам, а также промежуточная аппаратура, в состав которой входят мультиплексоры, демультиплексоры, коммутаторы и повторители.

*Модем* осуществляет преобразование двоичных информационных сигналов для их передачи по аналоговым линиям связи (**модуляцию**) и обратное преобразование (**демодуляцию**) – при приеме информации; отсюда и название этих устройств. Дискретный канал связи, обеспечивающий передачу данных между двумя компьютерами, формируется так, как показано на рисунке 7.3.



**Рис. 7.3.** Дискретный канал связи

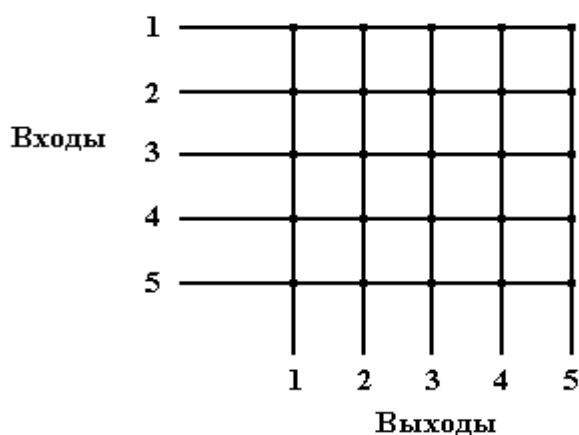
*Сетевой адаптер* реализует функции сопряжения компьютера с каналом связи. Одноканальный адаптер связывает компьютер с одним каналом.

*Мультиплексор* передачи данных является многоканальным устройством сопряжения компьютера с несколькими каналами связи. Другими словами, он объединяет сообщения, поступившие от разных источников, в одном выходном канале, то есть уплотняет принятые сообщения. Мультиплексоры использовались на начальных этапах построения вычислительных сетей,

однако с укрупнением сетей и усложнением их структуры эти функции стали обеспечивать специальные процессоры.

*Демультимплексор* выполняет функции, обратные мультиплексированию сообщений.

*Коммутатор* наряду с мультиплексором и демультимплексором обеспечивает формирование составного канала связи между двумя абонентами в вычислительных сетях сложной конфигурации. Это комбинационная схема, коммутирующая любой вход со всеми выходами, причем различают два типа таких схем. *Пространственный коммутатор*, приведенный на рисунке 7.4, является матрицей  $n \times n$  с  $n$  горизонтальными (входными) и  $n$  вертикальными (выходными) шинами.



**Рис. 7.4.** Пространственный коммутатор

В узлах матрицы располагаются коммутирующие или переключательные элементы, благодаря чему и обеспечивается соединение каждого входа с хотя бы одним выходом, причем только один элемент может быть открыт в каждой из выходных шин. Однако недостатком таких коммутаторов является большое количество переключательных элементов, равное  $n^2$ , поэтому используются также многоступенчатые коммутаторы с меньшим числом таких элементов, но более сложной структуры и с большей задержкой

сигнала. *Временной* коммутатор содержит буферную память, данные в ячейки которой заносятся в результате последовательного опроса входов, а коммутация реализуется считыванием данных из требуемых ячеек на соответствующие выходы.

*Повторитель* применяется для промежуточного усиления передаваемых сигналов, когда протяженность линии связи больше, чем расстояние, на которое без искажений может передавать сигнал данная физическая среда.

Рассмотренная промежуточная аппаратура используется как в аналоговых, так и в цифровых линиях для создания высокоскоростных составных каналов связи между абонентами в информационных сетях.

### **7.3. Информационные сети**

Под *информационной сетью* будем понимать такую *коммуникационную* среду, в которой продуктом обработки, хранения, передачи и использования является информация. Основным «рабочим органом» таких сетей с полным основанием можно считать компьютер, в связи с чем правомерно говорить о компьютерных коммуникационных сетях.

Термин коммуникация происходит от латинского слова *communicatio*, которое можно перевести как передача, связь, сообщение, и подразумевает в общем случае не только процесс обмена любой информацией или энергией, но и средства перемещения реальных объектов. На рисунке 7.5 приведена классификация коммуникаций.

В качестве примера материальных коммуникаций, обеспечивающих передачу или перемещение физических объектов, можно привести транспортные магистрали, газопроводы, водопроводные сети и т.д. К энергетическим коммуникациям можно отнести линии электропередачи.



**Рис. 7.5.** Классификация коммуникаций

Как следует из рисунка, существуют пять типов информационных коммуникаций. Аудио и видео коммуникации подразумевают передачу традиционными методами звука и изображения соответственно. Аудиторные коммуникации – это лектории, театры, церкви и т.п. Печатные коммуникации связаны с распространением печатной продукции. Компьютерные коммуникации к настоящему времени превратились в универсальное средство общения. Следует отметить, что дистанционную передачу информации, в том числе и с помощью компьютеров, называют также телекоммуникациями (приставка «теле» означает «далеко»). Предметом нашего рассмотрения будет именно этот тип коммуникаций.

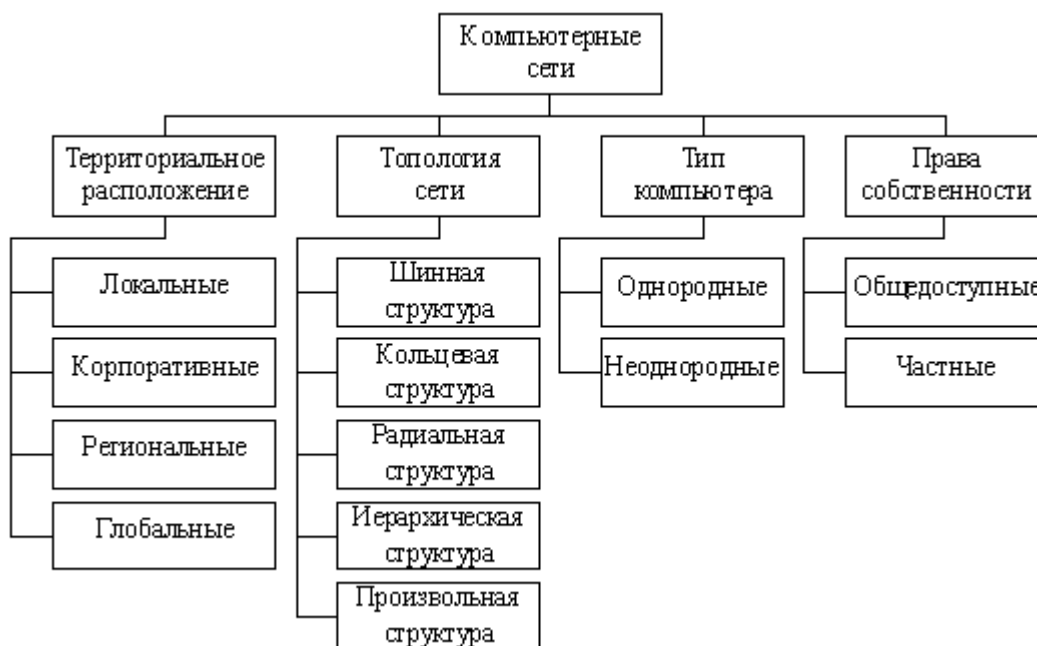
### **7.3.1. Типы информационных сетей**

Компьютерная коммуникационная среда – это совокупность правил и средств обмена информацией между людьми с помощью компьютеров. Компьютерная или вычислительная сеть представляет собой систему взаимосвязанных компьютеров, предназначенных для передачи, хранения и обработки информации. При наличии такой сети становятся доступными данные, хранящиеся в центральном компьютере, а также его ресурсы.

Компонентами вычислительной сети кроме компьютеров могут быть и разнообразные периферийные устройства, играющие роль источников и получателей информации, передаваемой по сети.

Приведем определения основных сетевых терминов, которые будем использовать в дальнейшем изложении. *Сервер* является главным компьютером сети, который предоставляет доступ к общей базе данных, а также обеспечивает взаимодействие пользователей и совместное использование ими устройств ввода-вывода. *Клиентом* сети является ЭВМ, имеющая доступ к ресурсам сервера. Чтобы обеспечить эту возможность, каждая такая машина должна быть занесена в список клиентов сервера, в результате чего ей выделяются регистрационное имя и пароль. *Узлом* или *абонентом* сети является ее объект, обеспечивающий генерацию или потребление информации. *Протокол* связи или обмена информацией устанавливает единые правила представления, передачи и восприятия данных для обеспечения процесса информационного обмена. *Пакетом* будем называть информационную последовательность байтов, предназначенную для передачи по сети.

Классификация компьютерных сетей, проведенная по нескольким признакам, представлена на рисунке 7.6.



**Рис. 7.6.** Классификация компьютерных сетей

В зависимости от территориального расположения узлов сети, т.е. от расстояния между ними, сети можно разделить на локальные или местные, корпоративные, региональные или территориальные и глобальные сети. *Локальная* вычислительная сеть (ЛВС, по-английски LAN – Local Area Network) объединяет абонентов, расположенных на относительно небольшом удалении друг от друга, обычно до километра. *Корпоративная* сеть объединяет связанные между собой ЛВС, размещенные в одном или нескольких рядом расположенных зданиях; обычно такая сеть организуется в пределах одного предприятия или учреждения. *Региональная* сеть (MAN – Metropolitan Area Network) связывает абонентов, расположенных в десятках километров друг от друга, обычно в пределах большого города или определенной территории. *Глобальная* сеть (WAN – Wide Area Network) объединяет абонентов разных стран и континентов. Наиболее известная сеть данного класса – это интернет, являющаяся телекоммуникационной информационной глобальной мегасетью, охватывающей свыше ста стран.

Подобные сети позволят объединить информационные ресурсы человечества и обеспечить доступ к ним.

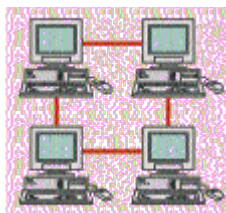
*Топология* сети определяет геометрическую схему расположения узлов сети и связей между ними. С точки зрения их топологии различают сети шинной или магистральной, кольцевой, звездообразной, иерархической и произвольной структуры; первые три из них наиболее характерны для ЛВС.

*Шинная* структура представлена на рисунке 7.7 и является, пожалуй, самой простой. Данные от любого узла сети распространяются по шине, в качестве которой используется коаксиальный кабель, в обе стороны и становятся доступными всем абонентам. Однако принимает сообщение только тот, кому оно адресовано. Такую сеть легко наращивать, она нечувствительна к неисправностям отдельных узлов, имеет высокое быстродействие, хотя и сравнительно малую протяженность.



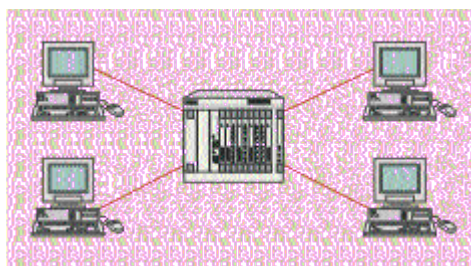
**Рис. 7.7.** Шинная структура ЛВС

*Кольцевая* структура показана на рисунке 7.8 и обеспечивает соединение всех узлов сети замкнутой кривой, причем выход одного узла соединен с входом следующего. Информация передается по кольцу и поочередно становится доступной всем абонентам, но распознает и получает ее только тот, кому она адресована. Такая структура эффективна для сетей, располагающихся на небольшом пространстве, однако быстродействие и надежность ее работы ниже. Ведь потеря работоспособности любого узла разрывает передающее кольцо, поэтому необходим комплекс защитных мер для сохранения передающей линии.



**Рис. 7.8.** Кольцевая структура ЛВС

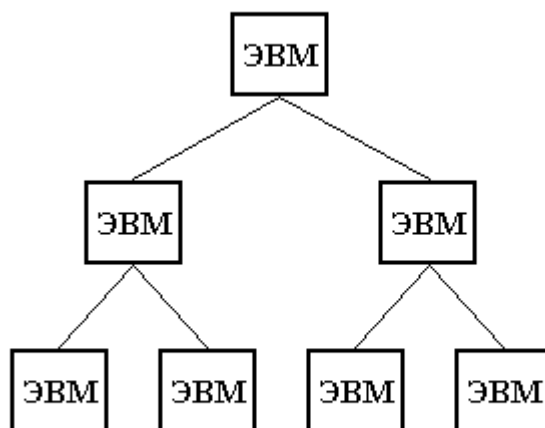
Звездообразная структура, показанная на рисунке 7.9, предполагает наличие центрального узла, от которого линии связи идут к каждому из остальных узлов. Таким образом, все периферийные узлы связываются друг с другом именно через центральный узел, работоспособность которого и определяет надежность сети. Такая структура упрощает взаимодействие периферийных узлов, что позволяет использовать более простые и дешевые сетевые адаптеры.



**Рис. 7.9.** Звездообразная структура ЛВС

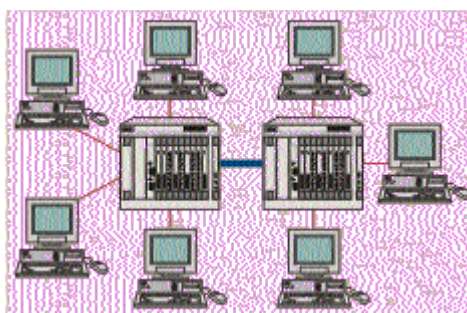
*Иерархическая* структура, представленная на рисунке 7,10, в некотором смысле может считаться разновидностью звездообразной структуры, поскольку только через узел верхнего уровня осуществляется связь между узлами следующего уровня иерархии. Это утверждение справедливо в отношении всех узлов такой структуры.





**Рис 7.10.** Иерархическая структура сети

Рассмотренные топологии применяются при реализации сетей с относительно небольшим числом компьютеров. Более крупные сети могут быть произвольной структуры, отдельные фрагменты которой представляют собой приведенные базовые топологии или их сочетания. В качестве примера на рисунке 7.11 представлена сеть с топологией «звезда – шина».



**Рис. 7.11.** Структура сети «звезда – шина»

В зависимости от типа используемых в сети компьютеров различают *однородные* и *неоднородные* сети. Очевидно, что первые из них содержат

только однотипные ЭВМ, а вторые, как правило, значительно более крупные, – разнотипные компьютеры.

С точки зрения возможностей доступа к ресурсам сети или прав собственности на них выделяют *общедоступные* и *частные* сети.

Необходимо отметить, что представленная на рисунке 7.5 схема классификации компьютерных сетей не является полной. Признаками различия сетей служат также применяемые в них протоколы обмена и способы коммутации данных. Однако эти более сложные понятия, связанные с функционированием компьютерных сетей, будут рассмотрены ниже.

### **7.3.2. Функционирование компьютерных сетей**

При работе в сети абонент располагает разнообразными возможностями. Он может в диалоговом режиме обмениваться сообщениями с другими абонентами. Имея на своем компьютере «почтовый ящик», он может пользоваться услугами электронной почты. Обладая соответствующими правами доступа, абонент может работать с удаленной базой данных или удаленным файлом. Наконец, установив логическую связь с процессом, протекающим на другой ЭВМ, он также может провести с ним сеанс связи.

В то же время компьютерные сети и программные продукты к ним производят многие фирмы, поэтому возникла задача объединения различных сетей. Для ее решения была принята концепция открытой системы и для таких систем была разработана *эталонная модель обмена* информацией. Под открытой системой понимается не замкнутая на себя система, способная взаимодействовать по принятым правилам с другими системами. Эталонная модель обмена представляет общие рекомендации, которые должны быть реализованы производителями как сетевой аппаратуры, так и сетевых программных средств, чтобы проблема совместимости компьютерных сетей

была разрешена. Однако следует отметить, что предложенная модель рассматривает только общие функции, а не конкретные решения, обладает большой избыточностью, поэтому далеко не все конкретные сети абсолютно точно ей соответствуют.

Согласно этой модели, архитектура которой представлена на рисунке 7.12, все сетевые функции разделены на семь уровней. Нижние уровни выполняют более простые функции и предоставляют услуги вышестоящим уровням, которые управляют ими и реализуют более сложные функции. Каждый уровень должен взаимодействовать только с двумя уровнями, расположенными выше и ниже его (с одним верхним или одним нижним – крайние уровни). При работе в сети каждым абонентом реализуются все функции. Непосредственная связь между ними устанавливается только на нижнем уровне, а остальные одноименные уровни абонентов имеют лишь виртуальную связь. При организации обмена информацией она проходит все уровни сверху вниз у передатчика и в обратном направлении, снизу вверх, – у приемника.

7	Прикладной
6	Представительный
5	Сеансовый
4	Транспортный
3	Сетевой
2	Канальный
1	Физический

**Рис. 7.12.** Эталонная модель архитектуры открытой системы

Первый *физический* уровень обеспечивает выполнение всех действий в канале связи. Именно здесь информация представляется в виде передаваемых сигналов, то есть осуществляется управление аппаратурой передачи данных для реализации функции передачи через конкретную физическую среду.

Второй *канальный* уровень осуществляет передачу по информационному каналу, под которым понимается логический канал, формируемый между двумя компьютерами, соединенными физическим каналом связи. Этот уровень осуществляет формирование и передачу *кадров* – пакетов канального уровня, а также обнаруживает и исправляет ошибки, которые возникают при передаче информации на физическом уровне. В локальных компьютерных сетях канальный уровень разделен на два подуровня: один управляет доступом к каналу передачи, а второй – логическим каналом.

Третий *сетевой* уровень обеспечивает межсетевое взаимодействие и *маршрутизацию* пакетов, т.е. определяет и реализует маршруты, по которым они передаются через промежуточные компоненты сети. Фактически маршрутизация сводится к формированию логического канала между сетевыми объектами, при наличии которого возможно их взаимодействие.

Четвертый *транспортный* уровень осуществляет связь между конечными пунктами сетевого обмена информацией. На этом уровне производится мультиплексирование и демуплексирование пакетов, которые на транспортном уровне называются *сегментами*. Логические каналы, образуемые на данном этапе, по которым передаются информационные пакеты, называются транспортными каналами.

Пятый *сеансовый* уровень организует сеансы связи, ведущиеся в диалоговом режиме между абонентами сети. При этом определяются тип устанавливаемой связи (дуплексная или полудуплексная), а также режим обмена запросами и ответами между участниками диалога.

Шестой *представительный* уровень определяет формат представления передаваемых данных, принятый в используемой системе, причем эти данные при необходимости переводятся из одного кода в другой.

Седьмой *прикладной* уровень осуществляет управление прикладными процессами, которые будут реализованы в сетевом окружении. При этом

данные, которыми будут обмениваться процессы, формируются в блоки, и также обеспечивается сервис прикладных пользовательских программ.

Данные, поступающие в сеть от внешнего процесса и предназначенные для передачи, подвергаются обработке на всех уровнях рассмотренной модели. При этом каждый уровень, кроме физического, добавляет к ним свой *заголовок*, содержащий служебную информацию, необходимую для правильной адресации пришедших сообщений и выполнения контрольных функций. Например, сообщение, поступившее на транспортный уровень, делится на сегменты со своими заголовками, которые передаются на следующий сетевой уровень. Здесь эти сегменты делятся на пакеты уже со своими заголовками, а затем на канальном уровне может осуществляться разбиение пакетов на кадры. Преобразованное таким образом сообщение со всеми заголовками передается в компьютерную сеть, абоненты которой определяют его адресат.

В приемном узле сети производится обратная последовательность действий, в результате которых исходное сообщение восстанавливается. Уровни эталонной модели последовательно считывают и удаляют соответствующие заголовки, причем нижние уровни игнорируют заголовки верхних уровней. В итоге, «поднявшись» до верхнего прикладного уровня, сообщение поступает тому процессу, которому оно и было предназначено.

Функции, описываемые на первом физическом уровне, реализуются аппаратными средствами – адаптерами, мультиплексорами и т.д. Функции остальных уровней реализуются программными модулями – драйверами.

Универсальность семиуровневой эталонной модели оказывается очень полезным свойством, когда возникает необходимость модернизации системы. В этом случае относительная независимость уровней друг от друга позволяет вносить изменения в тот или иной уровень, «не влезая» в другие уровни – ведь межуровневые интерфейсы заранее однозначно определены.

Взаимодействие между одноименными уровнями модели осуществляется абонентами сети по установленным соглашениям, совокупность которых, как уже отмечалось, и является протоколом. Такие протоколы, для каждого уровня модели свои, фактически определяют дисциплину обслуживания абонентов при их взаимодействии и реализуются программным путем в виде драйверов компьютерных сетей.

Стандартизация сетевых протоколов сравнительно легко осуществляется для физического, канального и сетевого уровней, поскольку именно здесь определяются процедуры, характерные для любых вычислительных сетей. Ясно, что эта же задача труднее всего решается для самого верхнего прикладного уровня из-за огромного разнообразия прикладных процессов. Существует несколько основных стеков коммуникационных протоколов, разработанных различными фирмами и международными организациями. Под *стеком* здесь понимается набор иерархически организованных протоколов, достаточный для взаимодействия абонентов на всех уровнях эталонной модели. Приведем некоторые наиболее распространенные в настоящее время протоколы.

На физическом уровне используется протокол X.21. На канальном уровне поддерживаются протоколы Ethernet, Token Ring, FDDI, X.25 и др. Из протоколов сетевого уровня следует выделить протокол IP (Internet Protocol), а транспортного уровня – протокол TCP (Transmission Control Protocol – протокол управления передачей). Среди протоколов верхних уровней иерархии отметим протоколы Telnet, WWW, SMTP (Simple Mail Transfer Protocol – простой протокол пересылки почты), X.400 (электронная почта), X.500 (справочная служба), FTAM (File Transfer, Access and Management – передача файлов, доступ к ним и управление файлами). Наконец, существует группа стандартов IEEE.802.1 – 802.12, часть которых разработана для локальных вычислительных сетей и касается канального уровня эталонной

модели, а точнее – непосредственно подуровня управления доступом к каналу передачи.

## **7.4. Корректирующие коды**

При передаче информации всегда возможно возникновение ошибок, прежде всего из-за помех в канале связи. Существуют различные способы обнаружения и исправления подобных ошибок передачи, когда, например, вместо посланной единицы принимается ноль или наоборот. Можно выделить три таких способа.

Очевидно, что самым простым вариантом является многократная передача информационных сообщений. За правильно принятый сигнал принимается тот, который повторился большее число раз среди неоднократно переданных. Разумеется, это ведет к резкому увеличению времени передачи или, что то же самое, к уменьшению ее скорости.

Второй способ заключается в одновременной передаче одних и тех же сообщений по нескольким параллельным каналам связи. В этом случае должно быть не менее трех таких каналов с независимым возникновением ошибок в каждом из них, и решение о правильности передачи принимается на основе совпадения «два из трех». По своей сути этот способ аналогичен предыдущему.

Однако наиболее эффективным способом обнаружения ошибок является использование корректирующих кодов, принципы построения некоторых из которых мы и рассмотрим.

### 7.4.1. Основы построения корректирующих кодов

Кодирование информации заключается в представлении чисел и слов соответствующими им комбинациями символов. Каждая такая комбинация называется *кодовой комбинацией*, а полная их совокупность образует *код*. В *равномерных* кодах все кодовые комбинации содержат одинаковое число знаков (например, пять в коде Бодо). Примером *неравномерного* кода служит код Морзе.

С помощью  $n$  двоичных знаков можно получить  $2^n$  различных комбинаций. Если *все* они задействованы для представления информации, то такой код называется *простым*. В нем всякая ошибка, состоящая в замене 0 на 1 или наоборот, превращает одну информационную комбинацию в другую и поэтому не может быть обнаружена.

Например, при  $n = 2$  имеем четыре комбинации: 00, 01, 10, и 11. Если ими кодируются числа 0, 1, 2 и 3, то в этом случае любая ошибка при передаче не будет обнаружена, так как всякая принятая двухразрядная кодовая комбинация представляет собой код какого-то одного из четырех реальных чисел. Добавим в каждую кодовую комбинацию по одному дополнительному двоичному разряду. Идея такой избыточности заключается в том, что теперь каждое из четырех чисел мы будем представлять не двумя, а тремя двоичными разрядами, то есть в каждой кодовой комбинации один двоичный разряд окажется «лишним». Пусть комбинации 001, 010, 100 и 111 соответствуют тем же исходным числам. Но ведь при  $n = 3$  можно закодировать восемь чисел от нуля до семи включительно, а мы по-прежнему кодируем только четыре числа. Значит остальные комбинации 000, 011, 101 и 110 при таком подходе являются запрещенными, поскольку не представляют никакие числа, поэтому их получение будет свидетельствовать о том, что при передаче информации произошла ошибка. Следовательно, надо вводить



избыточность, чтобы получить код, обладающий корректирующими возможностями.

Методы автоматического схемного контроля основаны на применении *избыточных* или *корректирующих* кодов, причем такие коды называются корректирующими даже в том случае, если они только обнаруживают ошибки, но не исправляют их. В корректирующих кодах лишь часть всех возможных кодовых комбинаций используется для представления информации, а остальные комбинации являются запрещенными и их появление свидетельствует о наличии ошибки.

В приведенном примере любая *одиночная* ошибка в двоичном знаке приводит к запрещенной комбинации, которая и будет обнаружена.

*Избыточность*  $k$  кода определяется разностью

$$k = n - m,$$

где  $n$  – общее количество знаков в данном коде;

$m = \log_2 N$  – количество информационных знаков;

$N$  – количество двоичных чисел, которые изображаются в коде  $n$  знаками.

В *систематическом*  $n$ -значном коде всегда содержится постоянное количество  $m$  информационных и  $k$  избыточных или контрольных знаков, причем последние занимают одни и те же позиции во всех кодовых комбинациях. Следует отметить, что  $m$  и  $k$  – целые числа. Так, в нашем примере  $n = 3$ ,  $m = \log_2 4 = 2$  и  $k = 1$ .

*Относительная избыточность*  $r$  кода определяется отношением

$$r = k / m.$$

*Корректирующая способность* кода определяется вероятностью обнаружения или исправления с его помощью различных ошибок. Эта характеристика кода тесно связана с понятием минимального кодового расстояния, но прежде чем перейти к его рассмотрению, надо определиться еще с двумя понятиями.

Вес  $w(a)$  кодовой комбинации  $a$  равен количеству содержащихся в ней двоичных единиц.

*Кодовое расстояние* (или хэмминговое расстояние) между двумя кодовыми комбинациями характеризует степень их отличия и определяется количеством позиций, в которых элементы этих комбинаций (двоичные знаки) не совпадают. Следовательно, кодовое расстояние между комбинациями  $a$  и  $b$  равно весу некоторой третьей комбинации  $c$ , полученной поразрядным сложением по модулю 2 этих двух комбинаций, то есть

$$w(c) = w(a \oplus b) = \sum_{i=1}^n (a_i \oplus b_i).$$

Например,  $a = 101110$ ,  $b = 100011$ . Тогда  $c = a \oplus b = 001101$  и  $w(c) = 3$  – кодовое расстояние между комбинациями  $a$  и  $b$ .

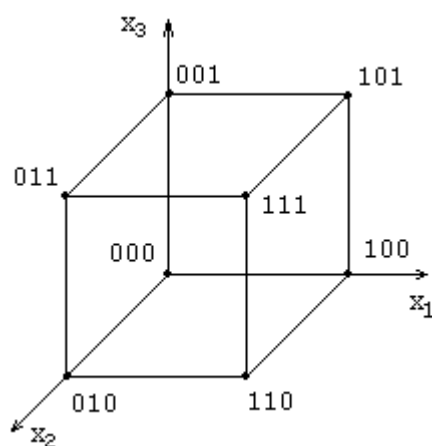
*Минимальным кодовым расстоянием  $d$*  кода называется минимальное расстояние между двумя *любыми* комбинациями в этом коде. Например, если есть хотя бы одна пара комбинаций кода, которые отличаются только в одной позиции, то для данного кода  $d = 1$  – такое значение имеет этот параметр у простого кода.

Для всех корректирующих кодов  $d > 1$ , и чем оно больше, тем выше корректирующая способность. Так, для уверенного обнаружения одиночной ошибки, то есть ошибки в одном двоичном разряде, требуется код с  $d \geq 2$ . Ведь любые два сообщения, представленные в таком коде, отличаются не менее чем в двух позициях (а для числовой информации – в двух разрядах). Следовательно, никакая одиночная ошибка не может превратить одну информационную комбинацию в другую, она обязательно создаст запрещенную комбинацию, которая и будет обнаружена.

Исправить одиночную ошибку после ее обнаружения можно только при применении кода с  $d \geq 3$ . В этом случае имеем такую последовательность комбинаций: правильная комбинация, две запрещенные, правильная, две запрещенные и т.д. Любая одиночная ошибка в этом коде создает

запрещенную комбинацию, отличающуюся от правильной в одной позиции. От всех других информационных комбинаций она отличается не менее чем в двух позициях. Этого оказывается достаточно для определения позиции ошибочного разряда и его исправления. Например, можно поочередно инвертировать каждый двоичный разряд, проверяя получающуюся после этого комбинацию. Если она остается запрещенной, то разряд восстанавливается. Очевидно, что при этом есть единственная возможность получить информационную комбинацию – инвертировать ошибочный разряд.

Приведенные рассуждения допускают простую геометрическую интерпретацию, представленную на рисунке 7.13.



**Рис. 7.13.** Геометрическое представление кодовых комбинаций

Координаты вершин единичного куба являются трехразрядными кодовыми комбинациями, кодовое расстояние между которыми интерпретируется как сумма длин ребер между соответствующими вершинами. Когда эти кодовые комбинации отличаются друг от друга на длину одного ребра куба, ( $d = 1$ ), помеха переводит одну информационную комбинацию в другую, и в этом случае обнаружить ошибку нельзя. Ее можно обнаружить при отличии кодовых комбинаций на два ребра ( $d = 2$ ), а

обнаружить и исправить в случае, когда расстояние между кодовыми комбинациями составляет три ребра ( $d = 3$ ).

Аналогичным образом можно показать, что для обнаружения групповых ошибок кратности  $t$  (для одиночных ошибок  $t = 1$ , для двойных  $t = 2$  и т.д.) или меньше требуется код с  $d = t + 1$ , а для исправления таких ошибок – код с  $d = 2t + 1$ . Но может быть обнаружена и *часть* других ошибок.

В любом корректирующем коде с минимальным расстоянием  $d$  любая информационная комбинация превращается в ближайшую другую информационную комбинацию изменением определенных  $d$  разрядов. Если же изменить другие  $d$  или даже  $d + 1$  разрядов, может получиться запрещенная комбинация, и тогда ошибка кратности  $t > d - 1$  будет обнаружена. Правда обнаруживается лишь *часть* таких ошибок, а приведенные соотношения подразумевают *уверенное* обнаружение или исправление  $t$ -кратных ошибок.

Одна из основных задач теории кодирования – разработка корректирующих кодов – решается в двух постановках: необходимо разработать код, имеющий максимальную корректирующую способность при заданной избыточности, или код, обеспечивающий заданную корректирующую способность при минимальной избыточности.

Необходимо отметить, что теория кодирования, как и теория передачи информации, и многие задачи математической статистики, в частности, статистики случайных процессов, являются составными частями теории информации.

Теория информации – это раздел кибернетики, занимающийся математическим описанием и оценкой методов передачи, хранения, получения и классификации информации, представляет собой совокупность теорий, общими для которых являются методы теории вероятностей, что отражает присутствие в процессах случайных факторов, связанных с информацией.

Основы теории передачи информации разработал К. Шеннон, решивший проблему нахождения максимально достижимой скорости передачи информации при сколь угодно малой вероятности ошибок, связав ее с количеством информации. Важное значение в теории кодирования имеют две теоремы, доказанные К. Шенноном.

Первая из них утверждает, что для канала связи, не вносящего своих помех, сообщения с энтропией  $H$  можно закодировать так, чтобы среднее число элементов кода, приходящихся на один элемент кодируемого алфавита, было бы минимальным (т. е. можно построить код, который сообщениям длины  $n$  будет ставить в соответствие кодовые слова в двоичном коде, математическое ожидание длины которых равно  $nH$ , с точностью до величины, бесконечно малой по сравнению с  $n$ , когда  $n \rightarrow \infty$ .)

Согласно второй теореме, относящейся к каналам с помехами, для таких каналов всегда существует способ кодирования, при котором сообщения будут передаваться со сколь угодно высокой достоверностью, если скорость передачи информации не превышает пропускной способности канала связи. Реализация этой возможности составляет содержание помехоустойчивого кодирования и связана с построением корректирующих кодов. В теории кодирования большое внимание уделяется поискам способов кодирования и декодирования, близких к оптимальным и достаточно простым при их аппаратной реализации.

#### **7.4.2. Код с проверкой на четность (нечетность)**

Код с проверкой на четность образуется добавлением к группе информационных двоичных разрядов, представляющих простой код, одного контрольного разряда. Его значение, 0 или 1, выбирается так, чтобы общее количество единиц в слове всегда было бы четным (или нечетным, если

формируется код с проверкой на нечетность). После любых действий над словом, в том числе и после его пересылки, производится подсчет единиц, которых должно быть четное (нечетное) количество. Нарушение этого требования свидетельствует о том, что произошла ошибка. Собственно, идея построения такого кода уже была приведена в примере с кодированием четырех чисел, но сейчас подробнее рассмотрим ее еще раз.

Пусть в четырехзначном двоичном коде только восемь кодовых комбинаций из шестнадцати возможных представляют числа от нуля до семи, а остальные комбинации запрещены. Закодируем числа так:

0 – 0000,	4 – 1001,
1 – 0011,	5 – 1010,
2 – 0101,	6 – 1100,
3 – 0110,	7 – 1111.

Нетрудно заметить, что при таком представлении три старших разряда являются информационными, так как в двоичном виде кодируют исходные числа, а значение четвертого контрольного разряда формируется в соответствии с приведенным правилом, чтобы количество единиц в каждой комбинации было бы четным. Остальные восемь четырехразрядных комбинаций, не представленные здесь, являются запрещенными, поскольку ими числа не кодируются.

Таким образом, сформирован корректирующий код с проверкой на четность, у которого  $d = 2$ , поэтому с его помощью все одиночные ошибки будут обнаружены. Кроме того, будут обнаружены и все групповые ошибки нечетной кратности (в данном случае – тройные ошибки), так как четность числа единиц в кодовой комбинации при этом нарушается в любом случае.

В принципе, коды с проверкой на четность или нечетность равноценны. Целесообразно все же число единиц в слове делать нечетным. Тогда любая кодовая комбинация будет иметь хотя бы одну единицу (при изображении нуля это будет единица в контрольном разряде). В результате можно отличить

отсутствие информации от нуля, если единица изображается наличием электрического сигнала, а ноль – его отсутствием. Впрочем, для представления чисел используются и другие способы.

Код с проверкой на четность имеет небольшую избыточность, но обладает значительной корректирующей способностью.

### 7.4.3. Коды Хэмминга

Коды Хэмминга имеют бóльшую относительную избыточность, чем коды с проверкой на четность. Они также содержат  $m$  информационных и  $k$  контрольных разрядов, но каждый из последних является разрядом четности для определенной группы информационных разрядов. При декодировании, под которым в данном случае понимается расшифровка полученных информационных комбинаций, осуществляется  $k$  групповых проверок на четность. В результате каждой такой проверки в соответствующий разряд регистра ошибок записывается 0, если проверка была успешной, и 1 – в противном случае, т. е. при обнаружении нечетности. Группы для проверки образуются так, что в регистре после всех проверок оказывается  $k$ -разрядное двоичное число, показывающее номер позиции ошибочного двоичного разряда, который инвертируется.

Группы для каждой проверки выбираются по следующему алгоритму. Первая проверка, в результате которой в первый (младший) разряд регистра заносится 0 или 1, охватывает все нечетные позиции кодовой комбинации, включая и принадлежащий этой группе контрольный разряд. Вторая проверка перебирает все позиции, номер которых в двоичном счислении имеет 1 во втором разряде и т. д. Описанная последовательность действий для семиразрядного кода Хэмминга сведена в таблице 7.2.

Т а б л и ц а 7.2

**Групповые проверки**

Номер проверки	Позиция контр. знака	Проверяемые позиции
1	1	1, 3, 5, 7
2	2	2, 3, 6, 7
3	4	4, 5, 6, 7

Как видно из этой таблицы, позиция  $i$ -го контрольного знака имеет номер  $2^{i-1}$ , причем каждый из них входит лишь в одну проверку на четность.

В кодах Хэмминга с увеличением  $n$  возрастает как количество информационных  $m$ , так и контрольных  $k$  знаков. Соотношение между этими параметрами приведено в таблице 7.3.

Т а б л и ц а 7.3

**Разрядность кодов Хэмминга**

$n$	3	4	5	6	7
$m$	1	1	2	3	4
$k$	2	3	3	3	3

Посмотрим, как число  $5_{10} = 0101_2$  будет представлено семиразрядной кодовой комбинацией, структура которой имеет следующий вид

$$m_4 \ m_3 \ m_2 \ k_3 \ m_1 \ k_2 \ k_1.$$

С информационными разрядами все ясно:  $m_4 = m_2 = 0$ ,  $m_3 = m_1 = 1$ . Чтобы определиться со значениями контрольных разрядов, надо воспользоваться данными таблицы 7.2. Согласно им сумма единиц, содержащихся в первом, третьем, пятом и седьмом разрядах кодовой комбинации, должна быть четной, то есть

$$k_1 + m_1 + m_2 + m_4 = k_1 + 1 + 0 + 0.$$



Следовательно,  $k_1 = 1$ . Аналогичным образом, воспользовавшись второй и третьей строками этой же таблицы, определяем, что  $k_2 = 0$  и  $k_3 = 1$ , и окончательно получаем следующий результат: 0101101.

В таблице 7.4 приведены представления чисел от нуля до девяти в виде семиразрядных кодовых комбинаций.

Т а б л и ц а 7.4

**Семиразрядные коды Хэмминга**

Десятично е число	Простой дв. код	Код Хэмминга	Десятично е число	Простой дв. код	Код Хэмминга
0	0000	0000000	5	0101	0101101
1	0001	0000111	6	0110	0110011
2	0010	0011001	7	0111	0110100
3	0011	0011110	8	1000	1001011
4	0100	0101010	9	1001	1001100

У рассмотренного кода  $d = 3$ , поэтому с его помощью можно обнаруживать одиночные и двойные ошибки и исправлять одиночные. Процедура обнаружения и исправления однократной ошибки выглядит следующим образом.

Пусть передано число  $6 = 0110011$ , а принятый код  $0100011$  содержит ошибку в пятом разряде. Первая проверка ( $1 + 0 + 0 + 0$ ) даст 1 в младшем разряде регистра ошибок. Вторая проверка ( $1 + 0 + 1 + 0$ ) даст 0 во втором разряде регистра. Наконец, третья проверка ( $0 + 0 + 1 + 0$ ) даст 1 в третьем разряде регистра. В результате в регистре ошибок окажется номер ошибочного разряда принятой кодовой комбинации:  $101_2 = 5_{10}$ . Затем содержимое пятого разряда инвертируется (в данном случае 0 меняется на 1) и получается правильная кодовая комбинация.

Хотя избыточность  $k$  кода Хэмминга не остается постоянной с увеличением длины кода  $n$ , но относительная избыточность  $r$  с ростом  $n$

падает. Это, кстати, относится и к коду с проверкой на четность, у которого  $k = 1$  есть постоянная величина.

### ***Контрольные вопросы***

1. Какие элементы обеспечивают распространение информации?
2. Чем канал отличается от линии связи?
3. Что такое емкость канала связи?
4. Чем бод отличается от бит/с?
5. Чем определяется максимально возможная пропускная способность идеального канала связи?
6. Чем достоверность передачи информации отличается от ее надежности?
7. Как классифицируются линии связи?
8. Какие функции выполняет модем?
9. Что такое коммуникации, и какие они бывают?
10. Что такое компьютерная коммуникационная среда?
11. Как классифицируются вычислительные сети?
12. Что представляет собой протокол обмена информацией?
13. Что представляет собой эталонная модель обмена информацией?
14. Чем отличаются равномерный и неравномерный коды?
15. Что такое избыточность кода и зачем она вводится?
16. Чем определяется корректирующая способность кода?
17. Как подсчитывается вес кодовой комбинации?
18. Что определяет минимальное кодовое расстояние?
19. Какие ошибки обнаруживаются кодом с проверкой на четность?
20. Как формируется семиразрядный код Хэмминга?

## СЛОВАРЬ ОСНОВНЫХ ТЕРМИНОВ

**Адаптер** (от лат. *adapto* – преобразовываю) или **контроллер** – устройство подключения блоков компьютера к системной шине.

**Адаптер сетевой** – внешний интерфейс компьютера, устройство его сопряжения с *каналом связи*; в глобальных сетях функции сетевого адаптера выполняет *модем*.

**Базовая система ввода/вывода, BIOS** (англ. Basic Input/Output System) – аппаратно-программный модуль операционной системы MS DOS, управляющий внешними устройствами компьютера. При включении персонального компьютера осуществляет поиск и загрузку с диска в оперативную память программы-загрузчика ОС, тестирование аппаратной части, а также инициализацию системы прерываний нижнего уровня. Хранится в *ПЗУ*, содержит программу начальной загрузки ОС, тестовые программы и *драйверы* стандартных *внешних устройств*.

**Блок системный** – металлический корпус, в котором размещены процессор, *оперативная память*, *накопители на жестких и гибких дисках*, блок питания, *адаптеры* внешних устройств и др. элементы компьютера.

**Бод** – единица скорости передачи дискретной информации по *каналу связи*, измеряемая в бит/с.

**Браузер** (англ. browser) – программа просмотра Web-страниц, обеспечивающая переход на другой объект по гиперссылке.

**Видеоадаптер (видеоконтроллер)** – устройство управления дисплеем и выводом информации на его экран; находится на видеокарте, устанавливаемой в разъем материнской платы, и включает в себя схему управления экраном, видеопамять (растровую память) для хранения

воспроизводимой на экране информации, сменные микросхемы ПЗУ (матрицы знаков) и порты ввода/вывода.

**Виртуальная машина** – (от лат. *virtualis* – способный, возможный) – воображаемая машина, предоставляемая пользователю операционной системой.

**Виртуальная память** – воображаемая память, выделяемая операционной системой для размещения пользовательской программы, ее рабочих полей и *информационных массивов*.

**«Всемирная паутина»** (англ. WWW – World Wide Web) – совокупность информационных источников, находящихся на разных компьютерах в виде *гипертекстов*, которые представляют собой Web-страницы.

**Гиперссылка** – выделенный объект *гипертекста*, связывающий его с другим информационным источником и реагирующий на щелчок «мыши».

**Гипертекст** – текст, документ, представляющий собой сочетание алфавитно-цифровой информации в различных форматах и стилях с графическими изображениями, аудио и видеoinформацией; содержит *гиперссылки*, связывающие его с другими источниками.

**Декодирование** – процесс, обратный кодированию, т. е. восстановление чисел и слов по соответствующим им комбинациям символов.

**Декодер, дешифратор** (франц. *decoder, déchiffre* – расшифровывать, разбирать) – логическое устройство, преобразующее *коды* входных сигналов в однозначно соответствующие им выходные сигналы. Применяется в компьютерах и вычислительных системах для преобразования кода операции команды в управляющий сигнал, кода адреса в сигнал выборки соответствующей *ячейки запоминающего устройства*, а также для распределения сигналов по цепям управления, выборки требуемых *каналов связи* и т.д.

**Демодулятор** (франц. *démodulateur*) – электронный узел устройств, отделяющий полезный (модулирующий) сигнал от несущей составляющей, в

зависимости от вида которой (гармоническая или импульсная) и типа модуляции демодуляторы подразделяют на амплитудные, частотные и фазовые или на амплитудно-, частотно-, фазо- и широтно-импульсные.

**Диск** – машинный носитель информации с прямым доступом. Различают *накопители* на магнитных и оптических дисках.

**Дискета** (англ. diskette) – сменный носитель информации на гибком магнитном *диске* в виде неразборной съемной кассеты.

**Дисковод** – устройство *чтения/записи информации* на *диске*.

**Доступ** (к информации) – возможность использования информации, хранящейся в ЭВМ или системе.

**Драйвер** (англ. driver – формирова<sup>т</sup>ель) – программа, осуществляющая форматное преобразование данных при обмене информацией между основной памятью компьютера и соответствующим внешним устройством.

**Запись** – неоднородная упорядоченная статическая структура прямого доступа.

**Запоминающее устройство, ЗУ** – устройство для приема, хранения и выдачи информации в компьютерах и вычислительных системах. Оно состоит из накопителя, блоков приема, записи, выборки, считывания, выдачи числа и местного управления. По характеру обращения к ЗУ различают адресные, безадресные и ассоциативные ЗУ; по способу выборки информации из отдельных ячеек – ЗУ с произвольным, последовательным и циклическим обращением; по функциональному назначению – *ОЗУ, ПЗУ*, внешнее, буферное, магазинное ЗУ и т.п. В зависимости от типа ЗУ возможно совмещение функций приема и выдачи числа в одном блоке, отсутствие блоков приема и записи числа в долговременном ПЗУ и т.д.

**Инсталляция** (англ. installation – размещение, ввод в действие) – установка программного продукта, при которой он размещается на магнитном *диске*. Напр., при инсталляции принтера устанавливается его

*драйвер*, это делается один раз при подключении к компьютеру новой модели принтера.

**Информации передача** – процесс ее распространения от источника к потребителю. Полная информационная модель передачи информации в реальных условиях включает в себя передатчик, кодирующее устройство, *кодер* канала, *канал связи*, *декодер* канала, декодирующее устройство и приемник.

**Информации передачи теория** – часть теории информации, основы которой разработал К. Шеннон, решивший проблему нахождения максимально достижимой скорости *передачи информации* при сколь угодно малой вероятности ошибок, связав ее с количеством информации.

**Информации плотность записи** – количество информации в битах, записываемой на единицу площади или объема запоминающей среды.

**Информации регенерация** (от лат. *regenero* – возрождаю) – восстановление информации в вычислительных устройствах для ее длительного сохранения.

**Информации сжатие** – процесс преобразования информации для уменьшения избыточности в ее представлении, применяется для компактного размещения информации и сокращения времени ее передачи по *каналам связи* в *компьютерных сетях*.

**Информации стирание** – процесс перехода запоминающей среды в состояние, при котором параметры запоминающих элементов становятся идентичными. Процесс стирания по воздействию на среду противоположен *записи информации*. Стирание может происходить самопроизвольно или под влиянием окружающей среды и принудительно при воздействии технических средств для повторной записи. Иногда стирание происходит при *считывании информации*, тогда необходима *регенерация информации*.

**Информации считывание, чтение** – процесс распознавания состояния запоминающей среды. В некоторых типах *ЗУ* этот процесс осуществляется

автоматически без внесения изменений в текущее состояние, т.е. без разрушения хранимой информации.

**Информационная теория** – раздел кибернетики, занимающийся математическим описанием и оценкой методов передачи, хранения, получения и классификации информации, представляет собой совокупность теорий, общими для которых являются методы теории вероятностей, что отражает присутствие в процессах случайных факторов, связанных с информацией. Ее составными частями являются *теория передачи информации*, *теория кодирования* и многие задачи математической статистики.

**Информационная модель** – совокупность информации, описывающей свойства и состояния объекта, процесса или явления, а также их связь с внешним миром; различают знаковые и вербальные (лат. *verbalis* – устный) информационные модели.

**Информационная система** – совокупность методов и средств ввода, хранения, обработки и вывода информации, а также персонала, используемых для принятия обоснованных решений в интересах достижения поставленной цели.

**Информационная технология** – совокупность методов и программно-технических средств, объединенных в технологическую цепочку, обеспечивающую сбор, хранение, обработку, передачу и отображение информации.

**Информация документальная** – информация, закрепленная на каком-либо материальном носителе.

**Канал машинный** – совокупность технических средств обмена информацией между центральным процессором и внешними устройствами компьютера.

**Канал связи** – технические средства, которые обеспечивают распространение электрических сигналов по линиям связи от передатчика к приемнику.

**Канала связи пропускная способность** – верхнее значение скорости передачи информации по всем возможным распределениям сообщений на входе канала. Распределение вероятностей сообщений на выходе канала при известном сообщении на его входе является фиксированной характеристикой канала.

**Кластер** (англ. cluster – группа) – минимальная единица размещения информации на *диске*, содержит один или несколько смежных секторов дорожки.

**Код** (франц. code) – множество кодовых слов, которое поставлено в соответствие некоторым элементам сообщений. Число символов в кодовом слове называется его длиной, число букв алфавита – основанием кода, если основание равно двум, код называют двоичным. Коды бывают равномерными и неравномерными в зависимости от того, одинаковую ли длину имеют кодовые слова.

**Кода избыточность** – величина, определяемая как разность между длиной равномерного *кода* и числом информационных знаков кодовой комбинации; относительная избыточность определяется отношением избыточности кода к числу информационных знаков.

**Кодер, шифратор** (франц. coder, chiffreur – нумеровать, шифровать) – логический блок, преобразующий комбинации входных сигналов в комбинации выходных сигналов, эквивалентные исходным.

**Кодирование** – универсальный способ отображения информации, задаваемый взаимно однозначным соответствием между элементами сообщений (напр., буквами печатного текста) и словами (конечными наборами символов), с помощью которых они фиксируются в данном



алфавите. Другими словами, под кодированием информации можно понимать представление чисел и слов соответствующими им комбинациями символов.

**Кодирования теория** – раздел *теории информации*, изучающий коды, отображающие сообщения заданного вида в слова из символов некоторого алфавита, а также задачи *кодирования* и *декодирования* сообщений, посылаемых источниками информации и поступающих к потребителям.

**Коды корректирующие** – коды, используя которые можно обнаруживать и исправлять некоторые ошибки в символах кодовых слов. Основным принципом построения таких кодов является введение *избыточности кода*, когда часть символов кодовой комбинации можно использовать для обнаружения и исправления ошибок. Двоичные коды характеризуются минимальным кодовым расстоянием (числом несовпадений соответствующих символов) между кодовыми словами, которое определяет корректирующую способность кода – максимальное число обнаруживаемых и исправляемых ошибок в символах или вероятность обнаружения и исправления различных ошибок.

**Коммуникация** (лат. *communicatio* – сообщение, передача) – процесс обмена информацией, в котором различают технический, семантический и прагматический аспекты. Техническую сторону связывают с передачей информации по *каналам связи*, что рассматривается методами *теории информации*. Семантический аспект отражает передачу и прием информации, включая ее понимание получателем. Прагматический аспект учитывает влияние принятой информации на поведение получателей и эффективность ее использования.

**Линия связи** – физическая среда, обеспечивающая передачу информации.

**Массив информационный** (от франц. *massif* – плотный) – совокупность информации, хранящейся в определенном виде в ЗУ. Под массивом понимают набор однотипных по структуре и способу использования данных,

*записей*, а также множество поисковых образов документов или записей фактов в информационно-поисковой системе.

**Машинное слово** – последовательность единиц информации – битов, представляющих двоично-цифровую информацию, полубайтов (десятичные цифры) или байтов (буквенно-символьная информация). Обычно машинное слово занимает одну *ячейку* памяти компьютера, и при обращении к нему устройства оперируют с ним как с единым целым.

**Многоканальная система** – система обработки данных, осуществляющая обмен информацией со многими потребителями посредством *каналов связи*, разновидностью которой являются вычислительные системы.

**Модем**, модулятор-демодулятор – устройство в составе аппаратуры автоматической передачи данных по *каналам связи*, осуществляет преобразование для передачи по линиям связи (модуляцию) и обратное преобразование (демодуляцию) – при приеме.

**Модулятор** (лат. *modulator* – соблюдающий ритм) – устройство, изменяющее параметр несущего сигнала под действием информационного (модулирующего) сигнала. В зависимости от того, какой из параметров несущего сигнала (а им могут быть гармонические или импульсные колебания) модулируется, различают амплитудные, частотные и фазовые, а также амплитудно-, частотно-, фазо- и широтно-импульсные модуляторы.

**Накопитель** – блок *запоминающего устройства* компьютера, предназначенный для хранения информации. Представляет собой упорядоченную совокупность запоминающих *ячеек*, в каждой из которых хранится одно *машинное слово*.

**Накопитель на гибких магнитных дисках** – то же, что и *дискета*.

**Накопитель на жестких магнитных дисках типа «винчестер»** – один или несколько жестких дисков и блок магнитных головок записи/чтения в герметически закрытом корпусе; в последнее время в них стал

использоваться метод зонной записи, что увеличивает емкость жестких дисков примерно на треть.

**Накопитель на магнитной ленте** – в персональных компьютерах используются накопители на кассетной магнитной ленте – картриджи, их лентопротяжные механизмы называются стриммерами.

**Накопитель на оптических дисках** – лазерно-оптические диски, запись и чтение информации на поверхности которых осуществляется в оптическом *дисковом* компьютера лазерным лучом.

**Обращение к запоминающему устройству, ЗУ** – этап работы *запоминающего устройства* по извлечению из него или введению в него информации. Различные способы обращения к ЗУ влияют на структуру компьютера в целом и определяют тип ЗУ, а скорость работы последнего характеризуется временем обращения к ЗУ.

**Оперативное запоминающее устройство, ОЗУ, RAM** (от лат. *operor* – действую, обрабатываю и англ. *Random Access Memory* – память с произвольным доступом) – *запоминающее устройство*, предназначенное для записи, хранения и выдачи информации, непосредственно участвующей в вычислительном процессе при функционировании компьютера. ОЗУ состоит из больших интегральных схем, содержащих матрицы запоминающих элементов; последние расположены на пересечении горизонтальных и вертикальных шин матрицы, подачей импульсов по которым осуществляется *запись* и *считывание* информации, причем она теряется при отключении напряжения питания.

**Отношение сигнал-помеха** – отношение основной характеристики полезного сигнала, напр. эффективного напряжения, к соответствующей характеристике помехи, используется при оценке помехоустойчивости систем связи, управления, вычислительной техники и т.д.

**Очередь** – однородная линейно упорядоченная динамическая структура данных последовательного доступа.

**Постоянное запоминающее устройство, ПЗУ, ROM** (англ. Read-Only Memory – память только для чтения) – энергонезависимое *запоминающее устройство*, предназначенное для хранения постоянной информации, в частности, программ базовой системы ввода/вывода.

**Протокол** – совокупность единых правил передачи данных по *каналам связи в компьютерной сети*; регулирует взаимодействие параллельно функционирующих объектов сети, обеспечивая их согласованное поведение.

**Регистровая кэш-память** (от англ. cache – тайный склад) – быстродействующая буферная память большой емкости на регистрах между микропроцессором и ОЗУ для увеличения скорости выполнения операций в компьютере; недоступна для пользователя – отсюда и ее название.

**Сверхоперативное запоминающее устройство, СОЗУ** – быстродействующее ЗУ для объединения функций нескольких регистров процессора, а также для временного хранения часто используемых данных, констант, коротких подпрограмм и промежуточных результатов; является разновидностью буферного ЗУ. Оно используется при существенном различии в скоростях работы процессора и ОЗУ, предназначено для немедленного предоставления процессору тех блоков информации, которые необходимо обработать в данный момент. В СОЗУ запоминается самая последняя информация, выбранная из ОЗУ, вместе с непосредственно примыкающими данными, в предположении, что данные этого блока скоро снова будут нужны процессору; обмен блоками информации между СОЗУ и ОЗУ производится аппаратно.

**Сервер** (англ. server) – узел обслуживания, главный компьютер сети, который предоставляет доступ к общей базе данных, обеспечивает совместное использование устройств ввода/вывода и осуществляет взаимодействие *сетевых клиентов*.

**Сетевой клиент** – компьютер, имеющий доступ к ресурсам *сервера*, для чего ему выделяются пароль и регистрационное имя.

**Сеть компьютерная** – система взаимосвязанных компьютеров для передачи, хранения и обработки информации. Различают локальные (англ. LAN – Local Area Network), региональные (MAN – Metropolitan Area Network) и глобальные (WAN – Wide Area Network) вычислительные сети.

**Сообщение** – форма представления информации с помощью определенных знаков.

**Телеконференция** – коллективная дискуссия на определенную тему, проводимая с помощью сетевых средств по *электронной почте*.

**Файл** (англ. file – картотека, комплект) – то же, что и массив информационный.

**Флоппи диск** (англ. floppy disk – гибкий диск) – то же, что и *дискета*.

**Цикл ЗУ** – минимальное время работы ЗУ между очередными обращениями по одному и тому же адресу, часто совпадает с временем обращения к ЗУ; величина, обратная этому времени, есть частота работы ЗУ.

**Электронная почта, e-mail** (англ. electronic mail) – форма сетевого взаимодействия пользователей. Каждый абонент имеет «почтовый ящик» на своем компьютере, снабженном «почтовым адресом». Сформировав сообщение адресату, он указывает адрес получателя и отправляет сообщение, которое через почтовые серверы глобальной сети достигает адресата. Программное обеспечение предоставляет пользователю сети интернет различные возможности при работе с электронной почтой.

**Ячейка ЗУ** – совокупность запоминающих элементов *накопителя*, предназначенная для хранения одного слова (числа); характеризуется длиной, т.е. максимальным количеством двоичных разрядов (битов), которое одновременно может храниться в ней. Длина ячейки обычно равна длине *машинного слова* или кратна ей, а их количество определяет емкость ЗУ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Акулов О. А., Медведев Н. В. Информатика: базовый курс. – М.: Омега-Л, 2004. – 552 с.
2. Глушков В. М. (ред.) Словарь по кибернетике. – Киев: Главная редакция УСЭ, 1979. – 624 с.: ил.
3. Гук М. Аппаратные средства IBM PC. Энциклопедия. – 2-е изд. – СПб.: Питер, 2002. – 928 с.: ил.
4. Костров Б.В. Основы цифровой передачи и кодирования информации. – М.: «ТехБук», 2007. – 192 с.
5. Леонтьев В. П. Новейшая энциклопедия компьютера 2011. – М.: ОЛМА Медиа Групп, 2011. – 960 с.: ил.
6. Сырецкий Г.А. Информатика. Фундаментальный курс. Том 1. Основы информационной и вычислительной техники. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 832 с.: ил.