

## Вычислительная техника

План:

- 1) Поколения ЭВМ.
- 2) Общие принципы устройства компьютера.
- 3) Магистрально-модульная организация компьютера.
- 4) Устройство ПК.

### Поколения ЭВМ

**Компьютер** - это программируемый автомат для обработки данных.

Из этого определения можно сделать вывод, что компьютер состоит из двух важнейших составляющих: *аппаратной части* и *программного обеспечения* (ПО). В технической литературе их часто называют английскими терминами *hardware* и *software*.

История появления и развития вычислительной техники - это обширная тема, которой посвящено множество книг. С точки зрения курса информатики исторические сведения интересны, прежде всего, тем, что позволяют отследить основные направления развития компьютерной техники и попытаться предвидеть ее ближайшее будущее.

В отечественной технической литературе приблизительно до 80-х годов прошлого века везде использовался термин *электронно-вычислительная машина* (ЭВМ). Позднее это словосочетание стало постепенно вытесняться новым более коротким названием *компьютер*. Все разновидности современной вычислительной техники сейчас называются только компьютерами, но, тем не менее, старые модели по традиции именуется ЭВМ.

С каждым поколением вычислительных машин развиваются их *аппаратные возможности*. ЭВМ становятся более мощными и универсальными. Расширяется количество обрабатываемых **типов данных**:

- 1 поколение - только числовые данные;
- 2 поколение - добавляется простейшая обработка символов;
- 3 поколение - числа, текстовые и графические данные;
- 4 поколение - добавляются аудио- и видеоданные.

Появившись как устройство для облегчения вычислений, компьютер сейчас все более активно обрабатывает разнообразную нечисловую информацию. Чтобы подчеркнуть широкие возможности современных компьютеров, введен специальный термин - *мультимедиа*.

**Мультимедиа** (от латинских слов *multum* - много и *medium* - средства) - одновременное использование различных форм представления информации (графика, текст, видео, фотографии, анимация, звук и т.д.) и их объединение в одном объекте.

Как правило, при использовании технологий мультимедиа человек может влиять на показ материалов: перейти вперед или вернуться назад, изменить настройки, выбрать один из предложенных вариантов и т.п. Подобное взаимодействия человека и компьютера называют *интерактивностью* (взаимной активностью). Пример мультимедиа-объекта - компьютерная презентация.

Другое направление в развитии аппаратной части - это увеличение разнообразия и одновременно рост сложности **внешних устройств**, присоединяемых к ЭВМ:

- 1 поколение - штекеры и переключатели, индикаторные лампочки, устройства ввода с перфокарт;
  - 2 поколение - перфоленты, магнитные ленты и барабаны, печатающие устройства;
  - 3 поколение - магнитные диски, текстовые и графические мониторы, графопостроители;
  - 4 поколение - огромное разнообразие внешних устройств, в том числе накопители на лазерных дисках;  
мышь, джойстик, шлемы виртуальной реальности и др.;
- возможность подключения бытовой электроники (фотоаппаратов, музыкальных плееров, сотовых телефонов и др.) с помощью кабелей и беспроводных соединений.

## Устройство компьютера

Вычислительная техника в своем развитии прошла целый ряд характерных этапов. Несмотря на это, некоторые фундаментальные (базовые, основные) принципы устройства ЭВМ почти не изменились. Поэтому логично начать знакомство с устройством компьютера именно с них.

Классические принципы построения ЭВМ были предложены в работе *А. Беркса, Г. Голдстейна и Д. фон Неймана «Предварительное рассмотрение логической конструкции электронного вычислительного устройства»*. Обычно выделяют следующие наиболее важные идеи этой работы:

- S состав основных компонентов вычислительной машины;
- S принцип двоичного кодирования;
- S принцип адресности памяти;
- S принцип иерархической организации памяти;
- S принцип хранимой программы;
- S принцип программного управления.

Рассмотрим их подробнее.

### Общие принципы

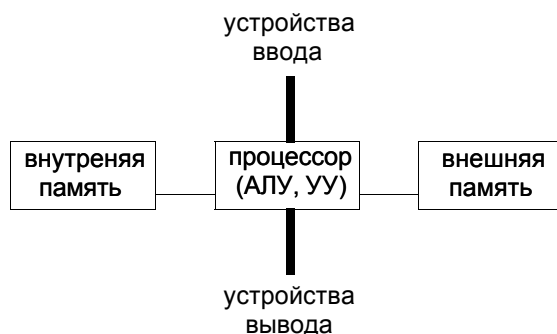
**Основные компоненты машины.** В самом первом разделе с таким названием фон Нейман с соавторами определили и обосновали состав ЭВМ:

*«Так как законченное устройство будет универсальной вычислительной машиной, оно должно содержать несколько основных органов, таких как орган арифметики, памяти, управления и связи с оператором. Мы хотим, чтобы машина была полностью автоматической, т.е. после начала вычислений работа машины не зависела от оператора».*

Таким образом, ЭВМ должна состоять из нескольких блоков, каждый из которых выполняет вполне определенную функцию. Эти блоки есть и в современных компьютерах:

- *арифметико-логическое устройство (АЛУ)*, в котором выполняется обработка данных;
- *устройство управления (УУ)*, обеспечивающее выполнение программы и организующее согласованное взаимодействие всех узлов машины; сейчас АЛУ и УУ изготавливают в виде единой интегральной схемы - *микроспроцессора*;
- S *память* - устройство для хранения программ и данных; память обычно делится на *внутреннюю* (для временного хранения данных во время обработки) и *внешнюю* (для длительного хранения между сеансами обработки);
- S *устройства ввода*, преобразующие входные данные в форму, доступную компьютеру;
- *устройства вывода*, преобразующие результаты работы ЭВМ в форму, удобную для восприятия человеком.

В классическом варианте все эти устройства взаимодействовали через процессор:



## **Принципы организации памяти**

**Принцип адресности памяти.** Оперативная память машины состоит из отдельных битов. Для записи или считывания группы соседних битов объединяются в *ячейки памяти*, каждая из которых имеет свой *адрес* (номер).

Разрядность ячеек памяти (количество бит в ячейке) в разных поколениях была различной. Первоначально ЭВМ были построены исключительно для математических расчетов. Числа желательнее было представлять как можно точнее, поэтому ячейки ОЗУ в первых машинах были длинными.

Примерно на стыке второго и третьего поколений ЭВМ стали использовать для обработки символьной информации, что привело к серьезному неудобству: в существующую числовую ячейку памяти помещалось 4-5 символов. Инженеры выбрали наиболее простое решение проблемы - уменьшить размер ячейки так, чтобы можно было обращаться к каждому символу отдельно. *Байтовая* память, основой которой стала восьмибитная ячейка, прекрасно зарекомендовала себя и используется в компьютерной технике до настоящего времени.

Очень важно, что информация может считываться из ячеек и записываться в них в произвольном порядке, поэтому организованную таким образом память принято называть *памятью с произвольным доступом* (англ. *RAM = random access memory*). Чтобы лучше понять смысл этого термина, сравните такую память с магнитной лентой, данные с которой можно получить только путем последовательного чтения.

Часто термин RAM отождествляют с русским термином ОЗУ - *оперативное запоминающее устройство*. Это не совсем точно. Дело в том, что кроме ОЗУ существует еще одна разновидность памяти с произвольным доступом - *постоянное запоминающее устройство* (ПЗУ, англ. *ROM = Read Only Memory* - память только для чтения). Главное отличие ПЗУ от ОЗУ заключается в том, что при решении задач пользователя содержимое ПЗУ не может быть изменено. ПЗУ гораздо меньше ОЗУ по объему, но это очень важная часть компьютера, поскольку в нем хранится доступное в любой момент программное обеспечение. Благодаря этому ПО компьютер сохраняет работоспособность даже тогда, когда в ОЗУ нет никакой программы.

Таким образом, ОЗУ и ПЗУ - это два вида памяти с произвольным доступом, обращение к данным в которых построено на основе принципа адресности.

**Принцип иерархической организации памяти.** К памяти компьютера предъявляется два противоречивых требования: ее объем должен быть как можно больше, а скорость работы - как можно выше. Ни одно реальное устройство не может удовлетворить им одновременно. Любое существенное увеличение объема памяти неизбежно приводит к уменьшению скорости ее работы. Действительно, если память большая, то обязательно усложняется механизм нахождения в ней требуемых данных, а это сразу замедляет чтение из памяти. Кроме того, чем быстрее работает память, тем она дороже, и, следовательно, меньше памяти можно установить за приемлемую для потребителей стоимость.

Чтобы преодолеть противоречие между объемом памяти и ее быстродействием, используют несколько различных видов памяти, связанных друг с другом. Когда в 1946 году впервые формулировался этот принцип, в состав ЭВМ предполагалось включить всего два вида памяти: оперативную память и память на магнитной проволоке (предшественник устройств хранения данных на магнитной ленте). Дальнейшее развитие вычислительной техники подтвердило необходимость построения иерархической памяти: в современном компьютере уровней иерархии гораздо больше.

## **Принцип хранимой программы.**

Первые ЭВМ программировались путем установки переключателей на специальных панелях, так что процесс подготовки к решению задачи мог растянуться на несколько дней. Такое положение дел никого не устраивало, и в фон-неймановской архитектуре было предложено представлять команды в виде двоичного кода. Код программы, записанный заранее на перфокарты или магнитную ленту, можно было ввести в машину достаточно быстро.

Поскольку команды программы и данные по форме представления стали одинаковыми, их можно хранить в *единой памяти* вместе с данными. Не существует принципиальной разницы между двоичными кодами машинной команды, числа, символа и т.д. Это утверждение иногда называют **принципом однородности памяти**. Из него следует, что команды одной программы могут быть получены как результат работы другой. Именно так текст программы на языке высокого уровня переводится (транслируется) в машинные коды конкретной машины.

Код программы может сохраняться во внешней памяти (например, на дисках) и затем загружаться в оперативную память для повторных вычислений. Благодаря простоте замены программ, ЭВМ стали универсальными устройствами, способными решать самые разнообразные задачи в произвольном порядке и даже одновременно.

**Принцип программного управления.** Любая обработка данных в вычислительной машине происходит по программе. Принцип программного управления определяет наиболее общий механизм автоматического выполнения программы.

Процессор выполняет команды по следующему алгоритму (его часто называют основным алгоритмом работы процессора):

1) из ячейки памяти, адрес которой записан в счетчике адреса команд, выбирается очередная команда программы; на время выполнения она сохраняется в специальном регистре команд;

2) значение счетчика адреса команд увеличивается так, чтобы он указывал на следующую команду;

3) выбранная команда выполняется (например, при сложении двух чисел оба слагаемых считываются в АЛУ, складываются и результат операции сохраняется в регистре или ячейке памяти);

4) далее весь цикл повторяется сначала.

Таким образом, автоматически выполняя одну команду программы за другой, компьютер может исполнить любой линейный алгоритм. Для того, чтобы в программе можно было использовать ветвления и циклы, необходимо нарушить естественную последовательность выполнения команд. Для этого существуют специальные команды перехода, которые на этапе 3 заносят в счетчик адреса новое значение - адрес перехода. Чаще всего в программах используется условный переход, то есть переход происходит только при выполнении определенного условия.

Чтобы ускорить выполнение программы, основной алгоритм работы процессора был значительно усовершенствован. Идея была заимствована из конвейерного производства, где несколько рабочих одновременно выполняют различные операции (каждый над своим экземпляром изделия). Аналогично в современных микропроцессорах для каждого этапа выполнения команды создан отдельный аппаратный блок. Выполнив свою операцию, он передает результаты следующему блоку, а сам начинает выполнять очередную команду.

Проще всего понять этот механизм на примере первого этапа - выборки команды из ОЗУ. Специализированный блок выборки извлекает из памяти последовательно расположенные команды, не дожидаясь окончания их обработки. Прочитанные команды размещаются в специальной рабочей памяти внутри микропроцессора. В итоге, когда первая из выбранных команд будет завершена, за следующей не придется обращаться к ОЗУ, т.к. она уже находится во внутренней памяти микропроцессора. Учитывая, что обращение к ОЗУ занимает значительно больше времени, чем пересылка данных внутри процессора, такая опережающая выборка значительно ускоряет выполнение программы.

На практике применение конвейерного метода не так просто. Например, следующую команду часто не удается выполнить, поскольку она использует результат предыдущей, или сразу нескольким командам потребуется одновременно обратиться к ОЗУ. Тем не менее, этот метод широко применяется в микропроцессорах. В некоторых моделях используются параллельные конвейеры, так что в некоторых случаях к моменту завершения выполнения одной команды уже готов результат следующей.

### **Что называют архитектурой**

Описанные фон Нейманом и его соавторами классические принципы построения вычислительных устройств применялись во всех поколениях ЭВМ. В дополнение к ним в каждом конкретном семействе (*PDP, ЕС ЭВМ, Apple, IBM PC* и др.) формулируются свои собственные принципы устройства, благодаря которым обеспечивается аппаратная и программная совместимость моделей. Для пользователей это означает, что все существующие программы будут работать и на новых моделях того же семейства компьютеров. В литературе общие принципы построения конкретного семейства компьютеров называют *архитектурой*. К архитектуре обычно относят:

- S принципы построения системы команд и их кодирование;
- S форматы данных и особенности их машинного представления;
- S алгоритм выполнения команд программы;
- S способы доступа к памяти и внешним устройствам;
- S возможности изменения конфигурации оборудования.

Стоит обратить внимание на то, что архитектура описывает именно общее устройство вычислительной машины, а не особенности изготовления конкретного компьютера (набор микросхем, тип жесткого диска, емкость памяти, тактовая частота). Например, наличие видеокарты как устройства для организации вывода информации на дисплей входит в круг вопросов архитектуры. А вот является ли видеокарта частью основной платы компьютера или устанавливается на нее в виде отдельной платы, с точки зрения архитектуры значения не имеет. Иначе могло бы получиться, что для интегрированной в плату видеокарты потребовалась бы отдельная версия графического редактора!

### **Магистрально-модульная организация компьютера**

Разнообразие типов современных компьютеров говорит о том, что конструкция - это не самое главное. В то же время, их функциональное устройство практически не изменяется. Поэтому далее мы подробно рассмотрим основные узлы компьютера (процессор, память и устройства ввода и вывода) и взаимодействие между ними.

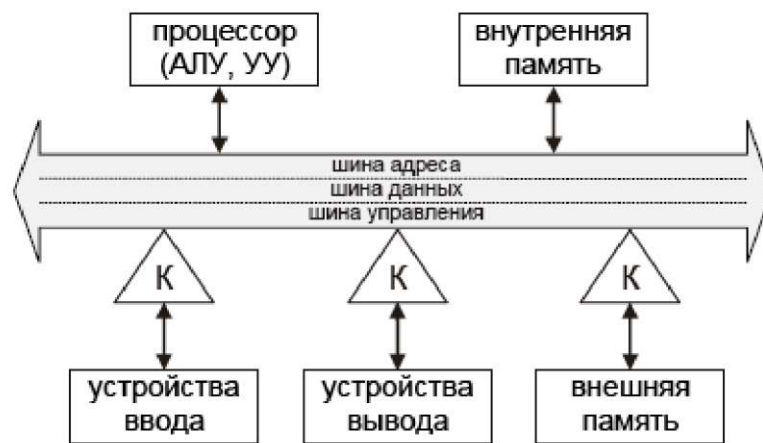
#### **Взаимодействие устройств**

Процессор должен обмениваться данными с внутренней памятью и устройствами ввода и вывода. Выделить отдельные каналы для связи процессора с каждым из многочисленных устройств нереально. Вместо этого сделана общая линия связи, доступ к которой имеют все устройства, использующие ее по очереди. Такой информационный канал называется *шиной*.

**Шина** (или *магистраль*) - это группа линий связи для обмена данными между несколькими устройствами компьютера.

Традиционно шина делится на три части:

- S шина данных, по которой передаются данные;
- S шина адреса, определяющая, куда именно передается информация;
- S шина управления, которая организует процесс обмена (несет сигналы чтение/запись, обращение к внутренней/внешней памяти, данные готовы/не готовы и т.п.).



В классической архитектуре процессор контролировал все процессы ввода-вывода. Получалось так, что быстродействующий процессор тратил много времени на ожидание при работе с значительно более медленными внешними устройствами. Поэтому появились специальные электронные схемы, которые руководят обменом информацией между процессором и внешними устройствами. В третьем поколении такие устройства назывались *каналами ввода-вывода*, а в четвертом - *контроллерами*<sup>22</sup> (на схеме они обозначены буквой К).

**Контроллер** - это электронная схема для управления внешним устройством и для простейшей предварительной обработки данных.

Современный контроллер - это микропроцессор, предназначенный специально для обслуживания одного (или даже нескольких однотипных) устройств ввода-вывода или внешней памяти. Нагрузка на центральный процессор при этом существенно снижается, и это увеличивает эффективность работы всей системы в целом. Контроллер, собранный в виде отдельной микросхемы называют *микроконтроллером*.

Как видно из приведенной выше схемы, теперь данные могут передаваться между внешними устройствами и ОЗУ напрямую, минуя процессор. Кроме того, наличие шины существенно упрощает подсоединение к ней новых устройств. Архитектуру, которую можно легко расширять за счет подключения к шине новых устройств, часто называют *магистрально-модульной*.

Если спецификация на шину (детальное описание всех ее логических и физических параметров) является открытой (опубликована), то производители могут разрабатывать к такой шине любые дополнительные устройства. Такой подход называют *принципом открытой архитектуры*. При этом в компьютере предусмотрены стандартные разъемы для подключения новых устройств, удовлетворяющих стандарту. Поэтому пользователь может собрать такой компьютер, который ему нужен. Необходимо только помнить, что при подключении любого нового устройства нужно установить специальную программу - *драйвер*, которая обеспечивает обмен данными между этим устройством и процессором.

В современных компьютерах для повышения эффективности работы используется несколько шин, например, одна - между процессором и памятью, другая - от процессора к видеосистеме и т.д.

#### **Обмен данными с внешними устройствами**

Существуют три режима обмена данными между центральным процессором (ЦП) и внешними устройствами:

- S программно-управляемый ввод/вывод;
- S обмен с устройствами по прерываниям;
- S прямой доступ к памяти (ПДП).

При **программно-управляемом** обмене все действия по вводу или выводу предусмотрены в теле программы. Процессор полностью руководит ходом обмена, включая ожидание готовности периферийного устройства и прочие временные задержки, связанные с процессами ввода/вывода. Достоинства этого метода - простота и отсутствие дополнительного

оборудования, недостаток - большие потери времени из-за ожидания быстро работающим процессором более медленных устройств ввода/вывода.

При обмене **по прерываниям** устройства ввода-вывода в случае необходимости сами требуют внимания процессора. Например, клавиатура оповещает процессор каждый раз, когда была нажата или отпущена клавиша; все остальное время процессор выполняет программу, вообще «не отвлекаясь» на клавиатуру. Когда прерывание произошло, ЦП «откладывает» на некоторое время выполнение основной программы и переходит на служебную программу обработки прерывания. Завершив его обработку, ЦП снова возвращается к тому месту программы, где она оказалась прервана. При этом основная программа даже «не заметит» возникшей задержки. Этот режим обмена более сложен, но зато значительно эффективнее - процессор не тратит время на ожидание.

Представим себе, что в кабинете начальника идет совещание, и в этот момент по телефону поступает важная информация, требующая немедленного принятия решения. Секретарша, не дожидаясь конца совещания, сообщает начальнику о звонке. Тот, прервав свое выступление, снимает трубку, выясняет суть дела и сообщает свое решение. Затем он продолжает совещание, как ни в чем не бывало. Здесь роль ЦП играет начальник, а телефонный звонок - это запрос (требование) на прерывание. «Секретарша» в компьютере тоже предусмотрена - это контроллер прерываний, анализирующий и сортирующий все поступающие прерывания с учетом их важности (*приоритета*).

Механизм прерываний используется не только в аппаратной части, но и в программах, которые основаны на обработке *событий* (нажатий на клавиши, команд управления от мыши и т.п.). Такая технология лежит в основе современных операционных систем и применяется в системах разработки программ *MS Visual Studio, Visual Basic, Delphi, Lazarus* и им подобных.

В обоих описанных выше вариантах управление обменом выполнял центральный процессор. Именно он извлекал из памяти выводимые данные (или записывал туда вводимые), подсчитывал их количество и полностью контролировал работу шины. Если передаваемые данные не требуют сложной обработки, ЦП напрасно расходует время на проведение обмена. Чтобы освободить процессор от этой работы и увеличить скорость передачи *крупных блоков* данных от устройства ввода в память и обратно, применяется **прямой доступ к памяти** (ПДП, англ. *DMA = Direct Memory Access*).

Принципиальное отличие ПДП состоит в том, что в этом режиме процессор не *производит* обмен, а только *подготавливает* его, программируя контроллер ПДП: устанавливает режим обмена, а также передает начальный адрес ОЗУ и количество циклов обмена.

Далее контроллер в ходе ПДП самостоятельно наращивает первое значение и уменьшает второе, что позволяет освободить центральный процессор

Изложенный материал о режимах ввода/вывода может быть сведен в таблицу (здесь УВВ обозначает устройство ввода-вывода):

END обмена	начинает обмен	руководит обменен	текущая программа	программа обмена
программный	ЦП	ЦП	программа еймена - часть текущей программы	
прерывания	УВВ	ЦП	прерывается	специальная подпрограмма
п д п	УВВ ЦП	контроллер ПДП	выполняется параллельно	отсутствует (обмен идет агшаратно)

## Устройство ПК Системная плата

Важнейшим аппаратным компонентом компьютера является системная плата. На системной плате реализована магистраль обмена информацией, имеются разъемы для установки процессора, слоты для установки оперативной памяти, а также контроллеров внешних устройств.



Логическая схема системной платы

Для согласования тактовой частоты и разрядности устройств на системной плате устанавливаются специальные микросхемы (их набор называют *чипсетом*), включающие в себя контроллер оперативной памяти и видеопамати (так называемый *северный мост*) и контроллер периферийных устройств (*южный мост*).

### Процессор

Центральным устройством, во многом определяющим возможности компьютера, является процессор.

**Процессор** - это блок, предназначенный для автоматического считывания команд программы, их расшифровки и выполнения.

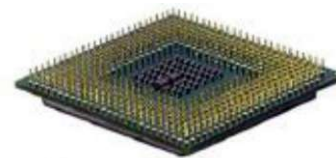
Название «процессор» происходит от английского глагола «to process» - обрабатывать.

Иными словами, процессор - это блок компьютера, который автоматически обрабатывает информацию по заданной программе.

Процессор, изготовленный в виде большой или сверхбольшой интегральной схемы (БИС, СБИС), называется *микромикропроцессором*.

Любой процессор обязательно включает в себя две важные части, каждая из которых решает свои задачи:

- *арифметико-логическое устройство (АЛУ)*, выполняющее обработку данных, и
- *устройство управления (УУ)*, которое управляет выполнением программы и обеспечивает согласованную работу всех узлов компьютера.



Вид микропроцессора со стороны выводов



### Основные характеристики процессора:

**S Тактовая частота** - количество тактовых импульсов за одну секунду.

Приблизительно можно считать, что процессор выполняет за один такт одну простую команду (типа пересылки регистр-регистр). Тогда при тактовой частоте 4 ГГц за 1 сек выполняется около 4 миллиардов таких операций. Это примерная оценка, потому что при конвейерном методе скорость выполнения команд сильно зависит от множества факторов, например, от порядка следования команд в программе.

**•S Разрядность** - это максимальное количество двоичных разрядов, которые процессор способен обрабатывать за одну команду.

Чаще всего разрядность определяют как размер регистров процессора в битах.

Однако, важны также разрядности шины данных и шины адреса, которые поддерживает процессор. *Разрядность шины данных* - это максимальное количество бит, которое может быть считано за одно обращение к памяти. *Разрядность шины адреса* - это количество адресных линий; она определяет максимальный объем памяти, который способен поддерживать процессор. Этот объем памяти часто называют величиной *адресного пространства*, он вычисляется по формуле  $2^R$ , где  $R$  - количество разрядов шины адреса.

Все три разрядности могут не совпадать. Так, у процессора Pentium II были 32-разрядные регистры, разрядность шины данных - 64 бита, а шины адреса - 36 бит.

### Память

**Память** - это устройство компьютера, которое используется для записи, хранения и выдачи по запросу команд программы и данных.

Обычно выделяют *внутреннюю* и *внешнюю* память. Термины эти имеют историческое происхождение, связанное с конструкцией первых ЭВМ: одна часть памяти находилась внутри главного шкафа (в котором размещался процессор), а другая - вне его.

Современные компьютеры, конечно, выглядят совсем по-другому, из-за чего названия утратили свою прежнюю наглядность. Тем не менее, деление памяти на два типа попрежнему сохраняется. Различие между ними кроется, прежде всего, в назначении. Внутренняя память предназначена для хранения программ и данных, которые используются для задач, решаемых в данный момент. А внешняя память служит для того, чтобы сохранить данные на длительный срок, пока они не потребуются, именно поэтому ее еще часто называют *долговременной*.

### Внутренняя память

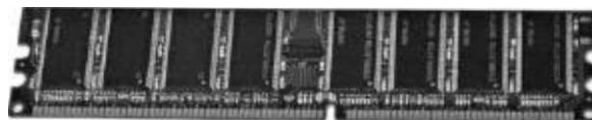
**Внутренняя память** - часть памяти компьютера, которая используется для хранения программ и данных во время решения задачи.

Часто ее называют *основной памятью*. В состав внутренней памяти входят ОЗУ и ПЗУ.

Информация, хранящаяся в ОЗУ, считается временной (оперативной), поэтому пользователь должен сам сохранять необходимые данные во внешней памяти.

Часто говорят, что при выключении питания информация в ОЗУ пропадает. Строго говоря, это не совсем правильно, поскольку существуют элементы памяти, способные сохранять свое состояние даже после отключения питания. Однако при повторном включении (или перезагрузке) компьютера программное обеспечение неспособно восстановить, где и какая информация находилась «в прошлый раз». Именно поэтому если при наборе текста перезагрузить компьютер, работу придется повторять заново.

Существуют два типа оперативной памяти, отличающиеся по технологии изготовления - *статическая* и *динамическая*. Первая строится на триггерах, а вторая - на полупроводниковых конденсаторах. Конденсатор намного проще и меньше триггера, так что на одном и том же кристалле можно сделать гораздо больше запоминающих элементов динамического типа, чем статического. Поэтому динамическая память имеет большую емкость и меньшую стоимость, чем статическая. К сожалению, у нее есть очень существенный недостаток: она



Модуль полупроводниковой памяти

работает намного медленнее статической. Сейчас в персональных компьютерах используется динамическая оперативная память.

Что касается ПЗУ, то технологии их изготовления также постепенно совершенствовались. Первоначально информация в ПЗУ заносилась только на заводе. Затем появились *программируемые* ПЗУ, которые потребитель мог заполнить сам, поместив «чистую» («пустую») микросхему в специальное устройство - *программатор*. В некоторых микросхемах этого типа в качестве запоминающих элементов использовали тонкие токопроводящие переключки. Наличие переключки означало единицу. Программатор мощными импульсами тока пережигал нужные переключки, тем самым устанавливая биты в нулевое состояние. Очевидно, что процесс записи информации таким способом был необратимым.

Позднее появились *перепрограммируемые* ПЗУ, в которых очистка информации сначала производилось ультрафиолетовыми лучами, а затем - с помощью электрических импульсов. Современные перепрограммируемые ПЗУ используют *флэш-память*. Каждый элемент такой памяти изготовлен на основе особой разновидности транзисторов, так что это тоже полупроводниковая память. Изменить содержимое такого ПЗУ можно даже без программатора, запустив специальную программу.

Внутри компьютеров семейства *IBM PC* есть еще один особый вид памяти - *память конфигурации* (CMOS-память). В ней хранятся разнообразные настройки аппаратного обеспечения, а также часы и календарь, благодаря которым компьютер всегда знает текущую дату и время. Данные сохраняются благодаря питанию от небольшой батарейки. CMOS-память - это особая память, которая не входит в адресное пространство внутренней памяти. Поэтому к ней невозможно обратиться просто по адресу, и в этом смысле она скорее похожа на внешнюю память. Для работы с памятью конфигурации в ПЗУ современного ПК предусмотрена специальная программа (она называется *BIOS Setup*), причем работать с ней можно только до загрузки операционной системы (при включении компьютера).



Флэш-BIOS на плате компьютера

### **Внешняя память**

**Внешняя память** - часть памяти компьютера, которая используется для долговременного хранения программ и данных.

К внешней памяти относятся разнообразные устройства хранения данных, начиная от накопителей на магнитных дисках и кончая современными внешними запоминающими устройствами на основе полупроводниковой флэш-памяти.

Любой тип внешней памяти состоит из некоторого носителя информации (например, диска или полупроводникового кристалла) и электронной схемы управления (*контроллера*).

*Машинный носитель информации* - это средство длительного хранения данных в компьютерном формате. Носитель может быть съемным (как в накопителях на оптических дисках), а может быть помещен внутрь неразборного устройства (жесткий магнитный диск - винчестер).

В переносных устройствах внешней памяти, например, во внешних винчестерах и флэш-накопителях, носитель и схема управления объединены в единый блок. Такие устройства подключаются к компьютеру снаружи через разъем.

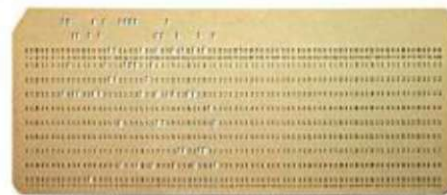
Центральный процессор не может непосредственно обращаться к данным на носителе, он работает с ними через контроллер внешней памяти.

Для внешней памяти характерны следующие черты:

- S обмен данными управляют контроллеры;
- S прежде чем процессор сможет непосредственно использовать программу или данные, хранящиеся во внешней памяти, их нужно предварительно загрузить в ОЗУ;

- данные располагается блоками (на дисках их принято называть *секторами*); блок данных читается и пишется как единое целое, что существенно ускоряет процедуру обмена; работать с частью блока невозможно.

В качестве внешней памяти используются самые разные носители. Первоначально программы и данные сохранялись на бумажных *перфокартах* и *перфолентах*. Подписанные обычной ручкой или карандашом, они сортировались программистами вручную. Затем произошел переход к магнитным носителям: магнитным лентам, барабанам и дискам.



**Перфокарта**

На *магнитных дисках* биты данных хранятся в виде небольших намагниченных (или ненамагниченных) областей. Сектора размещаются на концентрических окружностях (имеющих общий центр), которые называются *дорожками*. Поскольку длина дорожки зависит от положения на диске, количество секторов на дорожках может быть неодинаковым. Доступ к секторам диска - произвольный, максимальная скорость достигается тогда, когда читаемые или записываемые сектора располагаются подряд.

Управление такой сложной системой очень трудоемко - поэтому, как нам уже известно из истории вычислительной техники, появление магнитных дисков вызвало создание специального ПО для работы с ними - операционных систем (ОС). ОС берет на себя все технические детали, предоставляя пользователю работу с некоторыми наборами данных - *файлами*. Таким образом, начиная с дисковых накопителей, наличие файловой системы - это характерная черта внешней памяти, которая существенно отличает ее от внутренней.

Следующей технологией хранения информации стали *оптические компакт-диски* (англ. *CD = Compact Disk*). При записи данных (одним из способов) луч лазера «выжигает» на поверхности диска дорожку, в которой чередуются впадины и возвышения. При считывании также применяется луч лазера, только меньшей интенсивности, чтобы не разрушить данные. Для распознавания нулей и единиц используется различное отражение от перепадов глубины и ровной поверхности диска. В отличие от магнитных дисков, где информация хранится в виде на отдельных замкнутых дорожках, данные на оптическом диске записываются вдоль непрерывной спирали, как на старых грампластинках.

Сейчас широко используются оптические диски следующих поколений: DVD (англ.

*Digital Versatile Disk* - цифровой многоцелевой диск, емкость до 17 Гбайт) и *Blu-ray*-диски (емкостью до 66 Гбайт). Они имеют тот же диаметр, что и CD-диски, но для повышения плотности записи используют лазер с меньшей длиной волны.

Были разработаны также комбинированные магнитооптические диски. Носителем информации в них служит магнитное вещество, которое при нагреве лазером ориентируется в магнитном поле и меняет оптические свойства поверхности диска. После восстановления нормальной температуры такие диски необычайно устойчивы к внешним воздействиям. Тем не менее, они не получили распространения из-за высокой стоимости и малой скорости записи.

Отметим, что на всех видах дисков есть разметка на сектора, благодаря которой контроллер может быстро находить нужную информацию. Сами данные помещаются между «заголовком» сектора и его завершающей записью.

Наконец, последнее достижение в области устройств внешней памяти - запоминающие устройства на базе флэш-памяти. В ней нет движущихся частей, а носителем информации служит полупроводниковый кристалл. Данные во флэш-памяти обновляются только блоками, но для устройств внешней памяти это вполне естественно. Максимальное количество перезаписей данных для каждого блока хотя и велико, но все же ограничено.

Поэтому встроенный контроллер при записи использует специальный алгоритм для выбора свободных блоков, стараясь загружать сектора диска как можно более равномерно.

Кроме широко распространенных флэш-дисков («флэшек»), этот вид памяти используется в картах памяти для фотоаппаратов, плееров и сотовых телефонов, а также в твердотельных винчестерах (англ. *SSD = Solid State Disk*). Напомним, что ПЗУ также может изготавливаться на базе флэш-памяти.



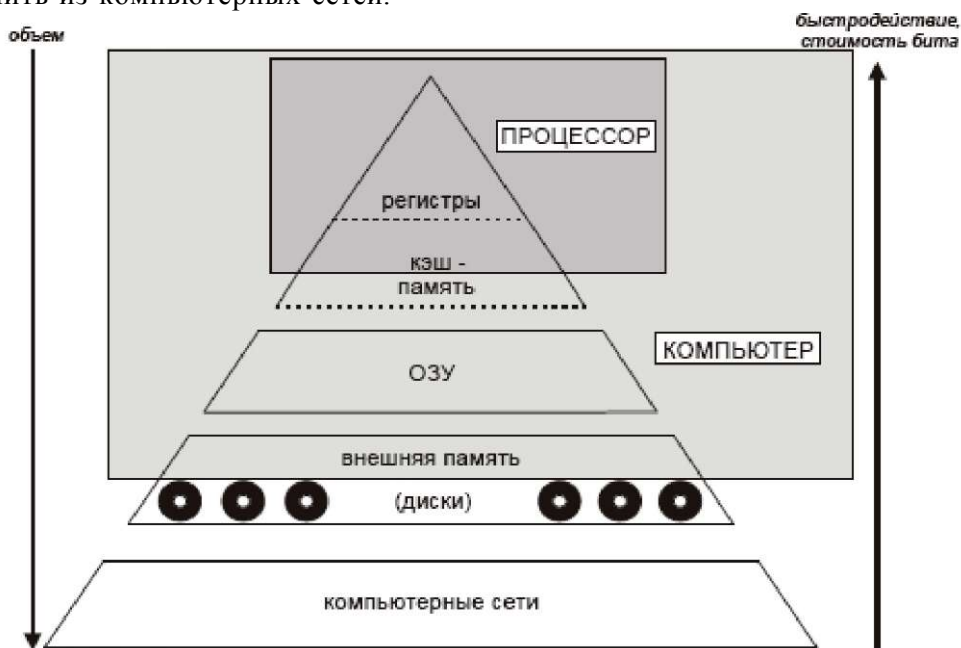
Флэш-карта

### Взаимодействие разных видов памяти

Итак, мы познакомились с разными видами внутренней и внешней памяти. Осталось разобраться, как они взаимодействуют между собой.

**Иерархия памяти. Кэширование.** Невозможно создать память, которая имела бы как большой объем, так и высокое быстродействие. Поэтому используют многоуровневую (иерархическую) систему из нескольких типов памяти. Как правило, чем больший объем имеет память, тем медленнее она работает.

Самая быстрая (и очень небольшая) память - это регистры процессора. Гораздо больше по объему, но заметно медленнее, внутренняя память (ОЗУ и ПЗУ). Далее следует огромная, но еще более медленная внешняя память. Наконец, последний уровень - это данные, которые можно получить из компьютерных сетей.



Для редактирования файла с диска (внешняя память) программа обработки загружает его в ОЗУ (внутренняя память), а конкретные символы, с которыми в данные доли секунды работает процессор, «поднимаются» по иерархии выше - в регистры процессора.

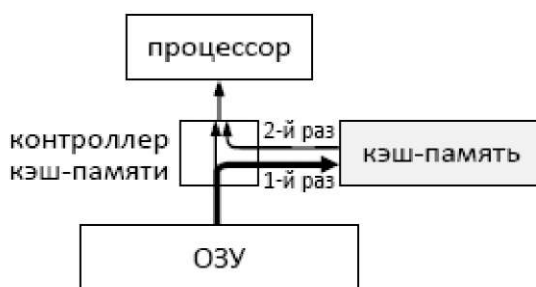
Производительность компьютера в первую очередь зависит от «верхних» уровней памяти - процессорной памяти и ОЗУ. Быстродействие процессоров значительно выше, чем скорость работы ОЗУ, поэтому процессору приходится ждать, пока до него дойдут данные из оперативной памяти. Чтобы улучшить ситуацию, между процессором и ОЗУ добавляют еще один слой памяти, который называют кэш-памятью (от англ. *cache* - тайник, прятать).

**Кэш-память** - это память, ускоряющая работу другого (более медленного) типа памяти, за счет сохранения прочитанных данных на случай повторного обращения к ним.

Кэш-память - это статическая память, которая работает значительно быстрее динамического ОЗУ. В ней нет собственных адресов, она работает не по фон-неймановскому принципу адресности.

При чтении из ОЗУ процессор обращается к контроллеру кэш-памяти, который хранит список всех ячеек ОЗУ, копии которых находятся в кэше. Если требуемый адрес уже есть в этом списке, то запрашивать ОЗУ не нужно, и контроллер передает процессору значение, связанное (*ассоциированное*) с этим адресом<sup>28</sup>. Такой принцип организации памяти называется *ассоциативным*.

Если нужных данных нет в кэш-памяти, они читаются из ОЗУ, но одновременно попадают и в кэш - при следующем обращении их уже не нужно читать из ОЗУ.



Обычно в кэш-память заносится содержимое не только запрошенной ячейки, но и ближайших к ней (эта стрелка на рисунке показана более толстой линией). Таким образом, в кэше хранятся копии часто используемых ячеек ОЗУ, и передача этих данных в процессор происходит быстрее.

В работе кэш-памяти есть две основные трудности. Во-первых, объем кэш намного меньше объема ОЗУ и он быстро заполняется - приходится заменять наиболее «ненужные» (например, редко используемые) данные. Во-вторых, если считанные из кэш-памяти данные обрабатываются процессором и сохраняются в ОЗУ, нужно обновлять и содержимое кэша. Обе эти задачи решает контроллер кэш-памяти. Несмотря на трудности, кэширование во многих случаях повышает скорость выполнения программы в несколько раз.

Сама кэш-память также строится по многоуровневой схеме: в современных процессорах есть, по крайней мере, 2-3 уровня. Некоторые из них входят в состав процессора, а остальные выполнены в виде отдельных микросхем (поэтому на схеме многоуровневой памяти кэш только частично расположен внутри процессора). Кэш для программы и для данных изготавливается отдельно. Это удобно потому, что считываемую программу, в отличие от данных, не принято изменять, поэтому кэш команд можно делать проще.

Подчеркнем, что термин «кэширование» в вычислительной технике имеет довольно широкий смысл: речь идет о сохранении информации в более быстродействующей памяти с целью повторного использования. Например, браузер кэширует файлы, полученные из Интернета.

**Виртуальная память.** Пользователям хочется, чтобы программное обеспечение было интеллектуальным и дружелюбным, и чтобы в нем были предусмотрены все самые мелкие детали, которые им (пользователям) могут потребоваться. Программистам хочется написать программу с наименьшими затратами сил и времени, поэтому они широко используют среды быстрой разработки программ (англ. *RAD = Rapid Application Development*).

В результате программы все больше увеличиваются в размере. Кроме того, объем обрабатываемых данных постоянно растет. Поэтому компьютерам требуется все больше и больше памяти, особенно в многозадачном режиме, когда одновременно запускается сразу несколько программ.

Как же согласовать эти требования с ограниченным объемом ОЗУ? Современные операционные системы используют для этого идею *виртуальной памяти*. Предполагается, что компьютер обладает максимально допустимым объемом памяти, а реально установленное ОЗУ - лишь некоторая *часть* этого пространства. Оставшаяся часть размещается в специальном системном файле или отдельном разделе жесткого диска. Если емкости ОЗУ не хватает для очередной задачи, система копирует «наименее нужную» (дольше всего не использовавшуюся) часть ОЗУ на диск, освобождая необходимый объем памяти. Когда, наоборот, потребуются данные с диска, они будут возвращены в освобожденное таким же образом место ОЗУ (и это совсем не обязательно будет то самое первоначальное место!).

При использовании виртуальной памяти выполнение программ замедляется, но зато они могут выполняться на компьютере с недостаточным объемом ОЗУ. В этом случае установка дополнительного ОЗУ может повысить быстродействие во много раз.

Использование виртуальной памяти еще раз подтверждает, что деление памяти на внутреннюю и внешнюю память - это искусственная мера. Она вызванная тем, что невозможно создать идеальную память, удовлетворяющую всем требованиям сразу.

#### **Основные характеристики памяти**

**S Информационная емкость** - это максимально возможный объем данных, который может сохранить данное устройство памяти.

Емкость памяти измеряется в тех же самых единицах, что и объем информации, т.е. в битах, байтах и производных единицах (чаще всего - в мегабайтах или гигабайтах).

**•S Время доступа** - интервал времени от момента посылки запроса информации до момента получения результата на шине данных.

Для ОЗУ время доступа измеряется в наносекундах ( $1 \text{ нс} = 10^{-9} \text{ с}$ ), а для винчестеров - в миллисекундах ( $1 \text{ мс} = 10^{-3} \text{ с}$ ). Такая разница связана с тем, что дисковод должен сначала переместить считывающую головку в нужное положение.

**•S Средняя скорость передачи данных** - это количество передаваемых за единицу времени данных после непосредственного начала операции чтения (т.е. без учета подготовительной стадии).

Эта характеристика обычно измеряется в мегабайтах в секунду (Мбайт/с).

Для дисковых накопителей часто указывают *частоту вращения* (в оборотах в минуту). Чем быстрее вращается диск, тем выше может быть скорость считывания и записи.

#### **Устройства ввода**

**Устройством ввода** называется устройство, которое:

- S позволяет человеку отдавать компьютеру команды и/или
- S выполняет первичное преобразование данных в форму, пригодную для хранения и обработки в компьютере.

К устройствам ввода относятся

- S клавиатура;
- S манипуляторы: мышь, трекбол, сенсорная панель, джойстик, трекпойнт;
- S сканер;
- S микрофон, видеокамера и другие источники мультимедийных данных;
- S световое перо и графический планшет - специализированные устройства ввода графической информации;
- S датчики.

Заметим, что некоторые устройства ввода, например, датчики и веб-камеры, работают без непосредственного участия человека.

#### **Устройства вывода**

**Устройства вывода** - это устройства, которые представляют компьютерные данные в форме, доступной для восприятия человеком.

Первыми устройствами вывода были панели индикаторных лампочек. Каждая из них показывала состояние отдельного бита: горящая лампочка обозначала единицу, а выключенная - ноль. Для чтения результата нужно было хорошо знать двоичную систему.



Этот схематический рисунок изображает индикаторную панель на пульте ЭВМ первых поколений. Разноцветные колпачки патронов с лампочками помогали правильно считывать результат: каждая группа из трех битов - это одна восьмеричная цифра.

Такие панели использовались для обслуживающего персонала вплоть до третьего поколения ЭВМ, однако для большинства пользователей такой вывод данных был непонятен. Первые «настоящие» устройства вывода печатали числа в десятичном виде на бумагу. Затем печатающие устройства научились печатать не только цифры, но и буквы.

Они работали по принципу печатающей машинки: рельефный шаблон символа ударял по красящей ленте, прижатой к бумаге, и оставлял отпечаток.

Кроме устройств, печатающих символы, появились графопостроители (плоттеры), которые рисовали перьями на бумаге графики функций и простейшие картинки. Так как современные принтеры могут выводить текст и графику (в том числе и цветную), специальные устройства для вывода графики практически не используются.

Революционным событием стало создание мониторов. Это позволило избавиться от ненужного расхода бумаги - теперь можно было выводить на печать только самое необходимое. Кроме того, управление и обслуживание ЭВМ стало более удобным.

Компьютеры четвертого поколения начали обрабатывать мультимедийную информацию - звуковые и видеоданные. Поэтому к компьютерам стали подключать устройства для вывода такой информации: звуковые колонки, наушники, телевизор и т.п. Некоторые из этих устройств (например, наушники) - аналоговые, поэтому для вывода необходимо преобразовать дискретные компьютерные данные в аналоговую форму. Для этого используется специальная электронная схема, которую называют *цифро-аналоговый преобразователь* (ЦАП). ЦАП для вывода звуковой информации входит в состав звуковой карты.

Эволюция устройств вывода не остановилась - все время разрабатываются устройства новых типов, порой весьма экзотические. Например, появились «3D-принтеры», которые способны под управлением компьютера создавать объемные тела из различных материалов (прежде всего, из пластика).

### ***Монитор***

Компьютерный монитор состоит из дисплея (панели, на которую смотрит человек) и электронных схем, позволяющих выводить на этот дисплей текстовую и графическую информацию.

Мониторы во многом используют телевизионные технологии. В конце XX века для компьютеров применялись мониторы на основе электронно-лучевых трубок (ЭЛТ), но они были вытеснены жидкокристаллическими (ЖК) мониторами.

Наиболее важные характеристики мониторов - это *размер диагонали* (в дюймах) и *максимальное разрешение* (количество точек экрана по ширине и высоте). Для ЖК-мониторов максимальное разрешение - это количество элементов матрицы. Если установить другое (более низкое) разрешение, то качество изображения будет хуже, т.к. видео-системе придется «растягивать» картинку на реально существующие точки.

Процессор передает данные для вывода *видеокарте* (*видеоконтроллеру*), которая управляет выводом изображения на монитор. Современные видеокарты содержат микропроцессор для обработки графической информации (*графический ускоритель*) и собственную *видеопамять*. Можно считать, что видеокарта - это специализированный компьютер, который существенно ускоряет построение и вывод на монитор графических изображений, особенно трехмерных.

Инженеры активно работают над созданием все более совершенных устройств вывода. Большое внимание уделяется разработке так называемых 3D-дисплеев, которые могут отображать информацию в трех измерениях.

### ***Печатающие устройства***

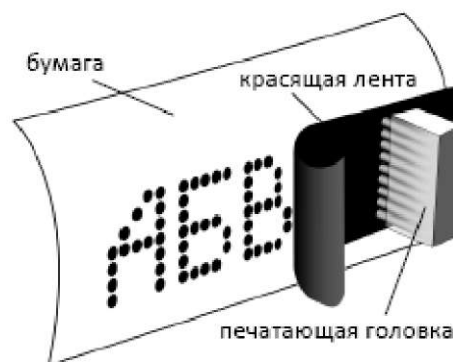
Печатающие устройства (*принтеры*) служат для вывода текстовой и графической информации на бумагу или пленку. Современные принтеры обрабатывают символы как графику, т.е. рисуют их. На принтерах можно печатать очень сложные изображения, в том числе цветные фотографии.

В настоящее время существует четыре основных типа принтеров: матричные, струйные, лазерные и сублимационные.

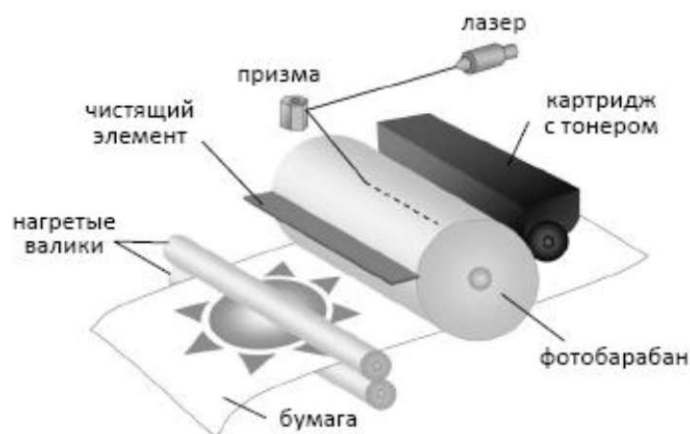


*Матричные* принтеры - это последнее поколение принтеров с ударным принципом работы. Печатающая головка содержит вертикальный ряд иголок, которые под воздействием управляющих сигналов ударяют по красящей ленте, оставляя на бумаге отпечатки в виде маленьких точек.

Печатающая головка *струйных* принтеров содержит крошечные отверстия, через которые под большим давлением на бумагу выбрасываются чернила. Диаметр получаемых при этом точек гораздо меньше, чем у матричных принтеров, что позволяет получить значительно лучшее качество печати. В цветных принтерах чаще всего устанавливается два картриджа: один с черной краской, а второй - с голубой, фиолетовой и желтой (вспомните цветовую модель СМΥК). Изображение строится из точек этих цветов. В некоторых моделях для повышения качества используют шесть базовых цветов. Для печати на струйных принтерах необходима качественная бумага, кроме того, напечатанное изображение расплывается при попадании воды.



*Лазерные* принтеры обеспечивают очень высокое качество печати. Компьютер строит в памяти полный образ страницы и передает его принтеру. Тот с помощью лазерного луча построчно переносит изображение на вращающийся барабан - строит электростатическую копию картинку. Затем к барабану притягиваются мелкие частицы красящего порошка - *тонера*, причем, чем сильнее наэлектризован участок барабана, тем больше краски он получает. На следующем этапе бумага прижимается к барабану, в результате на ней строится отпечаток картинку. Чтобы краска не осыпалась, на выходе нагретый валик вплавляет частицы тонера в бумагу. Поскольку лазерные принтеры используют достаточно сложные технологии, они стоят дороже матричных и струйных, и потребляют больше электроэнергии.



*Светодиодные* принтеры (их тоже часто называют лазерными) работают по такому же принципу, но изображение переносится на барабан не лазером, а светодиодной матрицей.

*Сублимационный* принтер печатает изображение совсем иначе: головка принтера нагревает поверхность, размягчая ее, а затем «впрыскивает» крохотные частицы красителя.

Сверху наносится защитный слой, который предохраняет краску от разрушения солнечными лучами, и в итоге образуется очень стойкое изображение. Сублимационные принтеры прекрасно подходят для печати на пластиковых картах и компакт-дисках, часто используются для печати фотографий. Их недостатки - низкая скорость печати (более 1 минуты на одну фотографию) и высокая стоимость.

Важнейшей характеристикой принтера является его разрешающая способность.

**Разрешающая способность принтера** - это максимальное количество точек, которые он способен напечатать на единицу длины.

По традиции разрешающая способность измеряется в точках на дюйм (англ. *dpi = dots per inch*). Все современные струйные и лазерные принтеры имеют разрешающую способность не ниже 300 dpi, что обеспечивает высококачественную печать. Некоторые принтеры позволяют пользователю менять разрешающую способность, регулируя тем самым качество печати.



Обратим внимание на разницу обозначений *ppi* (пиксели на дюйм) и *dpi* (точки на дюйм). В *ppi* измеряется разрешение цифрового изображения (например, отсканированного), а в *dpi* - качество печати принтера. Каждый пиксель картинки может изображаться принтером в виде нескольких точек.

Принтеры также часто сравнивают по *скорости* печати (в количестве страниц в минуту). Наименьшая скорость печати у сублимационных и матричных принтеров, а наибольшая - у лазерных. Цветная печать, как правило, выполняется дольше, чем более простая черно-белая.

### ***Устройства ввода/вывода***

Некоторые компьютерные устройства нельзя однозначно отнести ни к устройствам ввода, ни к устройствам вывода. Пример такого «гибрида» - сенсорный экран. С одной стороны, на него выводится информация, а с другой - пользователь вводит команды, нажимая на нужный участок изображения. Сенсорные экраны применяют в портативных компьютерах, платежных и информационных терминалах, а также для представления презентаций.

В некоторых мобильных телефонах, карманных и планшетных персональных компьютерах сенсорный экран заменил клавиатуру и занимает всю переднюю панель. Многие из этих устройств (например, смартфон *iPhone* и планшетный компьютер *iPad* фирмы *Apple*) используют технологию *мультитач* (англ. *multitouch*). Это значит, что сенсорный экран отслеживает нажатия и движения пальцев в нескольких точках одновременно. На пример, сближая пальцы рук, пользователь уменьшает масштаб изображения на дисплее, а раздвигая - увеличивает.