

Тема 2:

Общие принципы построения и архитектура ЭВМ

Основные вопросы:

- | | |
|---|-----------|
| 1. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭВМ | 1 |
| 2. СФЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ СРЕДСТВ ЭВТ | 7 |
| 3. СТРУКТУРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЭВМ РАЗЛИЧНЫХ ПОКОЛЕНИЙ | 13 |

1. Основные характеристики ЭВМ

Первые ЭВМ появились всего лишь 60 лет тому назад. За это время микроэлектроника, вычислительная техника (ВТ) и вся индустрия информатики стали одними из основных составляющих мирового научно-технического прогресса. Влияние ВТ на все сферы деятельности человека продолжает расширяться вширь и вглубь. В настоящее время ЭВМ используются не только для выполнения сложных расчетов, но и в управлении производственными процессами, в образовании, здравоохранении, экологии и т.д. Это объясняется тем, что ЭВМ способны обрабатывать любые виды информации:

- числовую,
- текстовую,
- табличную,
- графическую,
- видео,
- звуковую.

Электронная вычислительная машина - комплекс технических и программных средств, предназначенный для автоматизации подготовки и решения задач пользователей.

Под пользователем понимают человека, в интересах которого проводится обработка данных на ЭВМ. В качестве пользователя могут выступать заказчики вычислительных работ, программисты, операторы. Как правило, *время подготовки задач во много раз превышает время их решения.*

Требования пользователей к выполнению вычислительных работ удовлетворяются специальным подбором и настройкой технических и программных средств. Обычно эти средства взаимосвязаны и объединяются в одну структуру.

Структура - совокупность элементов и их связей.

Различают структуры технических, программных и аппаратурно-программных средств. Выбирая ЭВМ для решения своих задач, пользователь интересуется функциональными возможностями технических и программных модулей (как быстро может быть решена задача, насколько ЭВМ подходит для решения данного круга задач, какой сервис программ имеется в ЭВМ, возможности диалогового режима, стоимость подготовки и решения задач и т.д.). При этом пользователь интересуется не конкретной технической и программной реализацией отдельных модулей, а более общими вопросами возможности организации вычислений. Последнее включается в понятие архитектуры ЭВМ, содержание которого достаточно обширно.

Архитектура ЭВМ - это многоуровневая иерархия аппаратурно-программных средств, из которых строится ЭВМ. Каждый из уровней допускает многовариантное построение и применение. Конкретная реализация уровней определяет особенности структурного построения ЭВМ.

Детализацией архитектурного и структурного построения ЭВМ занимаются различные категории специалистов ВТ. Инженеры-схемотехники проектируют отдельные технические устройства и разрабатывают методы их сопряжения друг с другом. Системные программисты создают программы управления техническими средствами, информационного взаимодействия между уровнями, организации вычислительного процесса. Программисты-прикладники разрабатывают пакеты программ более высокого уровня, которые обеспечивают взаимодействие пользователей с ЭВМ и необходимый сервис при решении ими своих задач.

Самого же пользователя интересуют обычно более общие вопросы, касающиеся его взаимодействия с ЭВМ (человеко-машинного интерфейса), начиная со следующих групп характеристик ЭВМ, определяющих ее структуру:

- **технические и эксплуатационные характеристики** ЭВМ (быстродействие и производительность, показатели надежности, достоверности, точности, емкость оперативной и внешней памяти, габаритные размеры, стоимость технических и программных средств, особенности эксплуатации и др.);
- **характеристики и состав функциональных модулей базовой конфигурации** ЭВМ; возможность расширения состава технических и программных средств; возможность изменения структуры;
- **состав программного обеспечения ЭВМ и сервисных услуг** (операционная система или среда, пакеты прикладных программ, средства автоматизации программирования).

Одной из важнейших характеристик ЭВМ является ее **быстродействие**, которое характеризуется числом команд, выполняемых ЭВМ за одну секунду.

Поскольку в состав команд ЭВМ включаются операции, различные по длительности выполнения и по вероятности их использования, то имеет смысл характеризовать быстродействие или **средним быстродействием ЭВМ**, или **предельным** (для самых “коротких” операций типа “регистр-регистр”). Современные вычислительные машины имеют очень высокие характеристики по быстродействию, измеряемые десятками и сотнями миллионов операций в секунду. Например, микропроцессор совместного производства фирм Intel и Hewlett-Packard (P7) имеет быстродействие порядка миллиарда операций в секунду.

Реальное или эффективное быстродействие, обеспечиваемое ЭВМ, значительно ниже, и может сильно отличаться в зависимости от класса решаемых задач. Сравнение по быстродействию различных типов ЭВМ, резко отличающихся друг от друга своими характеристиками, не обеспечивает достоверных оценок. Поэтому очень часто вместо характеристики быстродействия используют связанную с ней характеристику

производительности - объем работ, осуществляемых ЭВМ в единицу времени.

Например, можно определять этот параметр числом задач, выполняемых за определенное время.

Однако сравнение по данной характеристике ЭВМ различных типов может вызвать затруднения. Поскольку оценка производительности различных ЭВМ является важной практической задачей, хотя такая постановка вопроса также не вполне корректна, были предложены к использованию относительные характеристики производительности. Так, например, фирма Intel для оценки процессоров предложила тест, получивший название *индекс iCOMP* (Intel Comparative Microprocessor Performance). При его определении учитываются четыре главных аспекта производительности: работа с целыми числами, с плавающей точкой, графикой и видео. Данные имеют 16- и 32-разрядное представление. Каждый из восьми параметров при вычислении участвует со своим весовым коэффициентом, определяемым по усредненному соотношению между этими операциями в реальных задачах (табл. 1.).

Таблица 1.

Индекс iCOMP

Типы данных	Тест	Весовой коэффициент в iCOMP, %
16- разрядные целые	PC Labs v7.01; Processor	52
32- разрядные целые	SPECint92	15
16- разрядные, графика	PC Labs WinBench v3.11	10
32- разрядные, графика	SPECint92	5
16- разрядные, видео	PC Labs v7.01; Video	5
32- разрядные, видео	SPECint92	5
16-разрядные вещественные	Power Meter vl.7; Whetstone PC Labs v7.01; Math Coprocessor	21

По индексу iCOMP микропроцессор Pentium 100 имеет значение 810, а Pentium 133-1000.

Единственной подходящей и надежной единицей измерения производительности является время выполнения реальных программ.

Рассмотрим некоторые популярные альтернативные единицы измерения (**MIPS и MFLOPS**)

MIPS - миллион команд в секунду. Имеется несколько различных вариантов интерпретации определения MIPS.

В общем случае MIPS есть скорость операций в единицу времени, т.е. для любой данной программы MIPS есть просто отношение количества команд в программе к времени ее выполнения. Таким образом, производительность может быть определена как обратная к времени выполнения величина, причем более быстрые машины при этом будут иметь более высокий рейтинг **MIPS**.

Положительными сторонами MIPS является то, что эту характеристику легко понять, особенно покупателю, и что более быстрая машина характеризуется большим числом MIPS, что соответствует нашим интуитивным представлениям. Однако использование MIPS в качестве метрики для сравнения наталкивается на три проблемы.

- Во-первых, MIPS зависит от набора команд процессора, что затрудняет сравнение по MIPS компьютеров, имеющих разные системы команд.
- Во-вторых, MIPS даже на одном и том же компьютере меняется от программы к программе.
- В-третьих, MIPS может меняться по отношению к производительности в противоположенную сторону.

MFLOPS - миллион чисел-результатов вычислений с плавающей точкой в секунду, или миллион элементарных арифметических операций над числами с плавающей точкой, выполненных в секунду

Измерение производительности компьютеров при решении научно-технических задач, в которых существенно используется арифметика с плавающей точкой, всегда вызывало особый интерес. Именно для таких вычислений впервые встал вопрос об измерении производительности, а по достигнутым показателям часто делались выводы об общем уровне разработок компьютеров. Обычно для научно-технических задач производительность процессора оценивается в MFLOPS.

Как единица измерения, MFLOPS, предназначена для оценки производительности только операций с плавающей точкой, и поэтому не применима вне этой ограниченной области. Например, программы компиляторов имеют рейтинг MFLOPS близкий к нулю вне зависимости от того, насколько быстра машина, поскольку компиляторы редко используют арифметику с плавающей точкой.

Ясно, что рейтинг **MFLOPS** зависит от машины и от программы. Этот термин менее безобидный, чем **MIPS**. Он базируется на количестве выполняемых операций, а не на

количестве выполняемых команд. По мнению многих программистов, одна и та же программа, работающая на различных компьютерах, будет выполнять различное количество команд, но одно и то же количество операций с плавающей точкой. Именно поэтому рейтинг MFLOPS предназначался для справедливого сравнения различных машин между собой.

Однако и с MFLOPS не все обстоит так безоблачно. Прежде всего, это связано с тем, что наборы операций с плавающей точкой не всегда совместимы на различных компьютерах.

Другая, осознаваемая всеми, проблема заключается в том, что рейтинг MFLOPS меняется не только на смеси целочисленных операций и операций с плавающей точкой, но и на смеси быстрых и медленных операций с плавающей точкой. Например, программа со 100% операций сложения будет иметь более высокий рейтинг, чем программа со 100% операций деления.

Другой важнейшей характеристикой ЭВМ является **ёмкость запоминающих устройств**. Ёмкость памяти измеряется количеством структурных единиц информации, которое может одновременно находиться в памяти. Этот показатель позволяет определить, какой набор программ и данных может быть одновременно размещен в памяти.

Наименьшей структурной единицей информации является **бит** - одна двоичная цифра. Как правило, ёмкость памяти оценивается в более крупных единицах измерения - **байтах** (1 байт=8 бит). Следующими единицами измерения служат

1 Кбайт = 2^{10} 1024 байта,
1 Мбайт = 2^{10} Кбайта = 2^{20} байта,
1 Гбайт = 2^{10} Мбайта = 2^{20} Кбайта = 2^{30} байта.
1Тбайт= 2^{10} Гбайт
1Пбайт= 2^{10} Тбайт

Обычно отдельно характеризуют ёмкость оперативной памяти и ёмкость внешней памяти. Этот показатель очень важен для определения, какие программные пакеты и их приложения могут одновременно обрабатываться в машине.

ПЭВМ могут иметь ёмкость оперативной памяти 4-32 Мб и даже до 4 Гб (2 x 2 Гб) для 32 разрядных ПЭВМ (до 16 Гб ?); до 64 Гб на blade-сервер-64-разрядный процессор POWER6 4,2 ГГц с функцией синхронной многопоточности и новой кэш-памятью уровня 2 ёмкостью 32 Мб на каждую пару ядер.

Ёмкость внешней памяти зависит от типа носителя. Так, ёмкость одной дискеты составляет 0,3-3 Мб в зависимости от типа дисковода и характеристик дискет. Ёмкость жесткого диска может достигать нескольких Гб и Тб, ёмкость компакт-диска (CD ROM) - сотни Мбайтов (640 Мбайт и выше), флеш память до 64 Гбайт (2010г.) и т.д. Ёмкость внешней памяти характеризует объем программного обеспечения и отдельных программных продуктов, которые могут устанавливаться в ЭВМ.

Жёсткие диски прошли долгий путь с момента их изобретения в 1956 году. IBM 350 Disk Storage стал первым коммерческим жёстким диском и вмещал в себя менее 5 Мбайт - звучит смешно по сравнению с современными терабайтными винчестерами.

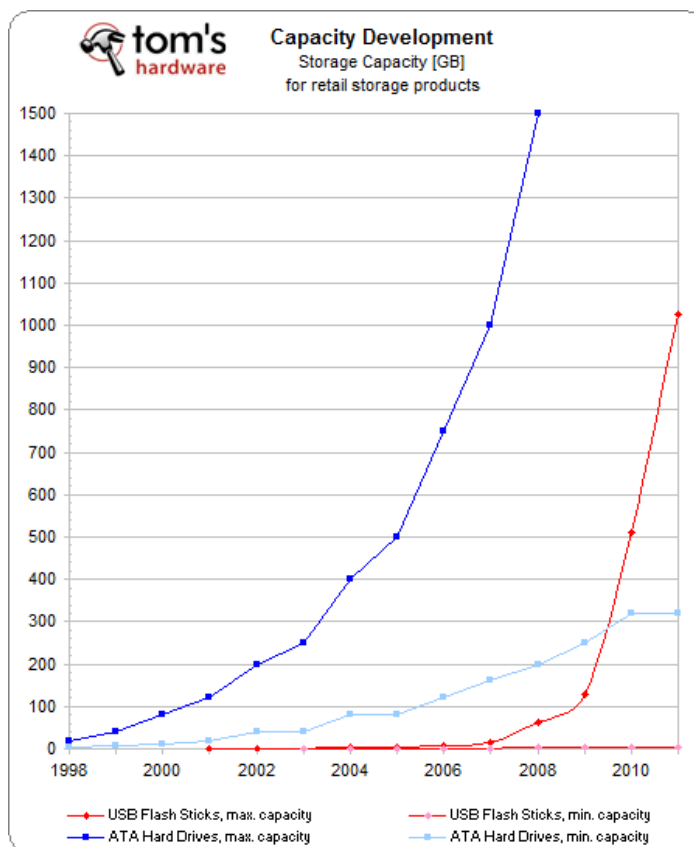
Прошло почти 30 лет до того момента, как жёсткие диски были стандартизированы интерфейсами ATA и SCSI и достигли двузначных ёмкостей в мегабайтах. Прошло

ещё десять лет, пока 3,5" жёсткие диски не стали доступны в ёмкостях, равных нескольким гигабайтам. Однако жёсткие диски остаются самым противоречивым компонентом ПК, поскольку их ёмкость увеличилась до невероятных размеров, а производительность при этом возрастает непропорционально.

Развитие **флэш-памяти** происходило не просто быстрее, а практически в геометрической прогрессии, то есть каждый год ёмкости, как минимум, удваивались. Хотя флэш-память давно использовалась для хранения рабочего кода (прошивки) для разнообразных устройств, таких как BIOS материнских плат или прошивка бытовой электроники, не так давно она стала использоваться и для хранения информации для всех типов приложений.

Если флэш-накопители первого поколения, как правило, предоставляли всего несколько мегабайт памяти и медленную производительность USB 1.1, то для современных USB-флэш-накопителей часто интерфейс USB 2.0 является "узким местом". Их ёмкость возросла до 64 Гбайт. И 32-Гбайт USB-брелоки сейчас вполне доступны.

Если ёмкость флэш-памяти продолжит удваиваться с каждым годом, то дешёвые флэш-накопители будут обеспечивать больше ёмкости, чем жёсткие диски начального уровня. Хотя увеличение ёмкости жёстких дисков продолжится, ёмкость флэш-накопителей будет расти быстрее. Но понадобится ещё несколько лет, прежде чем флэш-накопители смогут приблизиться по объёму к жёстким дискам



Красный график: мин. и макс. ёмкость флэш-брелоков. Синий график: мин. и макс. ёмкость жёстких дисков.

Надежность - это способность ЭВМ при определенных условиях выполнять требуемые функции в течение заданного периода времени (стандарт ISO (Международная организация стандартов) 23 82/14-78).

Высокая надежность ЭВМ закладывается в процессе ее производства. Переход на новую элементную базу - сверхбольшие интегральные схемы (СБИС) резко сокращает число используемых интегральных схем, а значит, и число их соединений друг с другом. Хорошо продуманы компоновка компьютера и обеспечение требуемых режимов работы (охлаждение, защита от пыли). Модульный принцип построения позволяет легко проверять и контролировать работу всех устройств, проводить диагностику и устранение неисправностей.

Точность - возможность различать почти равные значения (стандарт ISO - 2382/2-76). Точность получения результатов обработки в основном определяется разрядностью ЭВМ, а также используемыми структурными единицами представления информации (байтом, словом, двойным словом).

Во многих применениях ЭВМ не требуется большой точности, например, при обработке текстов и документов, при управлении технологическими процессами. В этом случае достаточно использовать 8-и, 16- разрядные двоичные коды.

При выполнении сложных расчетов требуется использовать более высокую разрядность (32, 64 и даже более). Поэтому все современные ЭВМ имеют возможность работы с 16- и 32- и 64- разрядными машинными словами. С помощью средств программирования языков высокого уровня этот диапазон может быть увеличен в несколько раз, что позволяет достигать очень высокой точности.

Достоверность - свойство информации быть правильно воспринятой. Достоверность характеризуется вероятностью получения безошибочных результатов. Заданный уровень достоверности обеспечивается аппаратурно-программными средствами контроля самой ЭВМ. Возможны методы контроля достоверности путем решения эталонных задач и повторных расчетов. В особо ответственных случаях проводятся контрольные решения на других ЭВМ и сравнение результатов.

2. Сферы применения и классификация средств ЭВТ

В настоящее время в мире произведены, работают и продолжают выпускаться миллионы вычислительных машин, относящихся к различным поколениям, типам, классам, отличающихся своими областями применения, техническими характеристиками и вычислительными возможностями. Традиционно электронную вычислительную технику (ЭВТ) подразделяют на **аналоговую и цифровую**.

В **аналоговых** вычислительных машинах (**АВМ**) обрабатываемая информация представляется соответствующими значениями аналоговых величин: тока, напряжения, угла поворота какого-то механизма и т.п. Эти машины обеспечивают приемлемое быстродействие, но не очень высокую точность вычислений (0.001-0.01). Распространены подобные машины не очень широко. Они используются в основном в проектных и научно-исследовательских учреждениях в составе различных стендов по отработке сложных образцов техники. По своему назначению их можно рассматривать как специализированные вычислительные машины.

В настоящее время под словом **ЭВМ** обычно понимают **цифровые вычислительные машины (ЦВМ)**, в которых информация кодируется двоичными кодами чисел. Именно эти машины благодаря универсальным возможностям и являются самой массовой вычислительной техникой.

Рынок современных компьютеров отличается разнообразием и динамизмом, каких еще не знала ни одна область человеческой деятельности. Каждый год стоимость вычислений сокращается примерно на 25-30%, стоимость хранения единицы информации - до 40%. Практически каждое десятилетие меняется поколение машин, каждые два года - основные типы микропроцессоров - СБИС, определяющих характеристики новых ЭВМ. Такие темпы сохраняются уже многие годы.

То, что 10-15 лет назад считалось современной большой ЭВМ, в настоящее время является устаревшей техникой с очень скромными возможностями. Современный персональный компьютер с быстродействием в десятки и сотни миллионов операций в секунду становится доступным средством для массового пользователя.

В этих условиях любая предложенная классификация ЭВМ очень быстро устаревает и нуждается в корректировке. Например, в классификациях десятилетней давности широко использовались названия мини-, миди- и микроЭВМ, которые почти исчезли из обихода. Вместе с тем существует целый ряд закономерностей развития вычислительной техники, которые позволяют предвидеть и предсказывать основные результаты этого поступательного движения. Необходимо анализировать традиционные и новые области применения ЭВМ, классы и типы используемых вычислительных средств, сложившуюся конъюнктуру рынка информационных технологий и его динамику, количество и качество вычислительной техники, выпускаемой признанными лидерами - производителями средств ЭВТ и т.д. Коротко рассмотрим эти основные вопросы, выяснение которых позволит понять, какая вычислительная техника требуется для решения определенных задач.

Академик В.М. Глушков указывал, что существуют **три глобальные сферы** деятельности человека, которые требуют использования качественно различных типов ЭВМ.

Первое направление является традиционным - применение ЭВМ для автоматизации вычислений. Научно-техническая революция во всех областях науки и техники постоянно выдвигает новые научные, инженерные, экономические задачи, которые требуют проведения крупномасштабных вычислений (задачи проектирования новых образцов техники, моделирования сложных процессов, атомная и космическая техника и др.). Отличительной особенностью этого направления является наличие хорошей математической основы, заложенной развитием математических наук и их приложений. Первые, а затем и последующие вычислительные машины классической структуры в первую очередь и создавались для автоматизации вычислений.

Вторая сфера применения ЭВМ связана с использованием их в системах управления. Она родилась примерно в 60-е годы, когда ЭВМ стали интенсивно внедряться в контуры управления автоматических и автоматизированных систем. Математическая база этой новой сферы практически отсутствовала, в течение последующих 15-20 лет она была создана.

Новое применение вычислительных машин потребовало видоизменения их структуры. ЭВМ, используемые в управлении, должны были не только обеспечивать вычисления, но и автоматизировать сбор данных и распределение результатов обработки.

Сопряжение с каналами связи потребовало усложнения режимов работы ЭВМ, сделало их многопрограммными и многопользовательскими. Для исключения взаимных помех между программами пользователей в структуру машин были введены средства разграничения: блоки прерываний и приоритетов, блоки защиты и т.п. Для управления разнообразной периферией стали использоваться специальные процессоры ввода-вывода данных или

каналы. Именно тогда и появился дисплей как средство оперативного человеко-машинного взаимодействия пользователя с ЭВМ.

Новой сфере работ в наибольшей степени отвечали мини-ЭВМ. Именно они стали использоваться для управления отраслями, предприятиями, корпорациями. Машины нового типа удовлетворяли следующим требованиям:

- были более дешевыми по сравнению с большими ЭВМ, обеспечивающими централизованную обработку данных;
- были более надежными, особенно при работе в контуре управления;
- обладали большой гибкостью и адаптируемостью настройки на конкретные условия функционирования;
- имели архитектурную прозрачность, т.е. структура и функции ЭВМ были понятны пользователям.

Начало выпуска подобных ЭВМ связано с малыми управляющими машинами PDP фирмы DEC. Термин “мини-ЭВМ” появился в 1968 г. применительно к модели PDP-8. В настоящее время использование мини-ЭВМ сокращается. Исчезает и термин мини-ЭВМ. На смену им приходят ЭВМ других типов: серверы, обеспечивающие диспетчерские функции в сетях ЭВМ, средние ЭВМ или старшие модели персональных ЭВМ (ПЭВМ).

Одновременно со структурными изменениями ЭВМ происходило и качественное изменение характера вычислений. Доля чисто математических расчетов постоянно сокращалась, и в настоящее время она составляет около 10% от всех вычислительных работ. Машины все больше стали использоваться для новых видов обработки: текстов, графики, звука и др.

Третье направление связано с применением ЭВМ для решения задач искусственного интеллекта. Напомним, что задачи искусственного интеллекта предполагают получение не точного результата, а чаще всего осредненного в статистическом, вероятностном смысле. Примеров подобных задач много:

- задачи робототехники,
- доказательства теорем,
- машинного перевода текстов с одного языка на другой,
- планирования с учетом неполной информации,
- составления прогнозов,
- моделирования сложных процессов и явлений и т.д.

Это направление все больше набирает силу. Во многих областях науки и техники создаются и совершенствуются базы данных и базы знаний, экспертные системы. Для технического обеспечения этого направления нужны качественно новые структуры ЭВМ с большим количеством вычислителей (ЭВМ или процессорных элементов), обеспечивающих параллелизм в вычислениях. По существу, ЭВМ уступают место сложнейшим вычислительным системам – массово- параллельным, суперкомпьютерам и др..

Уже это небольшое перечисление областей применения ЭВМ показывает, что для решения различных задач нужна соответственно и различная вычислительная техника. Поэтому рынок компьютеров постоянно имеет широкую градацию классов и моделей ЭВМ. Фирмы-производители средств ВТ очень внимательно отслеживают состояние рынка ЭВМ. Они не просто констатируют отдельные факты и тенденции, а стремятся активно воздействовать на них и опережать потребности потребителей. Так, например, **фирма IBM**, выпускающая примерно 80% мирового машинного “парка”, в настоящее время выпускает в

основном четыре класса компьютеров, перекрывая ими широкий класс задач пользователей.

- **Большие ЭВМ (mainframe)**, которые представляют собой многопользовательские машины с центральной обработкой, с большими возможностями для работы с базами данных, с различными формами удаленного доступа.

Казалось, что с появлением быстро прогрессирующих ПЭВМ большие ЭВМ обречены на вымирание. Однако они продолжают развиваться и выпуск их снова стал увеличиваться, хотя их доля в общем парке постоянно снижается. По оценкам IBM, около половины всего объема данных в информационных системах мира должно храниться именно на больших машинах. Новое их поколение предназначено для использования в сетях в качестве крупных серверов. Начало этого направления было положено фирмой IBM еще в 60-е годы выпуском машин IBM/360, IBM/370. Эти машины получили широкое распространение в мире.

Серия машин S/390 продолжает эту линию. Она насчитывает более двух десятков моделей:

- а) IBM S/390 Parallel Enterprise Server-Generation 3 (13 моделей) - призваны заменить большие ЭВМ ранних моделей. Они позволяют задавать переменную конфигурацию (число процессоров - 1-10, емкость оперативной памяти - 512-81292 Мб, число каналов - 3-256);

- б) IBM S/390 Multiprise 2000 (тоже 13 моделей) - ориентированы на использование на средних предприятиях (число процессоров 1-5).

Развитие ЭВМ данного класса имело большое значение для России. В 1970-1990 гг. основные усилия нашей страны в области вычислительной техники были сосредоточены на программе ЕС ЭВМ (Единой системы ЭВМ), заимствовавшей архитектуру IBM 360/370. Было выпущено несколько десятков тысяч ЭВМ этой системы. Более пяти тысяч ЭВМ серии ЕС еще продолжают работать в различных учреждениях и производствах. Большинство АСУ верхнего уровня государственного управления в РФ (в силовых структурах, банках, на транспорте, связи и т.д.) оснащено этими машинами. Накоплен громадный программно-информационный задел, который следует рассматривать как элемент национального достояния (по стоимости) и элемент национальной безопасности (по стратегической значимости). Поэтому принято решение на дальнейшее развитие этого направления. После подписания соглашения с фирмой IBM в марте 1993 г. Россия получила право производить 23 новейшие модели-аналоги ЭВМ IBM S/390 с производительностью от 1,5 до 167 млн. операций в секунду. По расходам на управление и эксплуатацию эти машины оказываются эффективнее других вычислительных средств.

- **Машины RS/6000** - очень мощные по производительности и предназначенные для построения рабочих станций для работы с графикой, Unix-серверов, кластерных комплексов. Первоначально эти машины предполагалось применять для обеспечения научных исследований.

- **Средние ЭВМ**, предназначенные в первую очередь для работы в финансовых структурах (ЭВМ типа AS/400 (Advanced Portable Model 3) - "бизнес-компьютеры", 64-разрядные). В этих машинах особое внимание уделяется сохранению и безопасности данных, программной совместимости и т.д. Они могут использоваться в качестве серверов в локальных сетях.

- **Компьютеры на платформе микросхем фирмы Intel.** IBM-совместимые компьютеры этого класса составляют примерно 50% рынка всей компьютерной техники. Более половины их поступает в сферу малого бизнеса. Несмотря на столь внушительный объем выпуска персональных компьютеров этой платформы, фирма IBM развивает собственную

альтернативную платформу, получившую название Power PC. Это направление позволило значительно улучшить структуру аппаратных средств ПК, а значит, и эффективность их применения.

Кроме перечисленных типов вычислительной техники, необходимо отметить класс вычислительных систем, получивший название **“суперЭВМ”**. С развитием науки и техники постоянно выдвигаются новые крупномасштабные задачи, требующие выполнения больших объемов вычислений. Особенно эффективно применение суперЭВМ при решении задач проектирования, в которых натурные эксперименты оказываются дорогостоящими, недоступными или практически неосуществимыми. В этом случае ЭВМ позволяет методами численного моделирования получить результаты вычислительных экспериментов, обеспечивая приемлемое время и точность решения, т.е. решающим условием необходимости разработки и применения подобных ЭВМ является экономический показатель “производительность/стоимость”. Например, при создании суперЭВМ GF-11 (Gigaflop-11) с быстродействием 11 млрд. операций в секунду предварительные расчеты, проведенные фирмой IBM, показали, что применение этой системы позволит решить целый комплекс новых задач. Одной из таких задач было уточнение массы протона на основе квантовой хромодинамики - доминирующей теории, пытающейся описать первичную структуру материи. При использовании новой ЭВМ должна была быть выполнена эта работа за 1,5 - 4 месяца с точностью 10%. Решение же этой задачи на существующей вычислительной технике требовало около 15 лет. Еще одним примером крупномасштабных задач следует считать задачу разработки новых схем СБИС для следующих поколений ЭВМ. СуперЭВМ позволяют по сравнению с другими типами машин точнее, быстрее и качественнее решать подобные задачи, обеспечивая необходимый приоритет в разработках перспективной вычислительной техники. Дальнейшее развитие суперЭВМ связывается с использованием направления массового параллелизма, при котором одновременно могут работать сотни и даже тысячи процессоров. Образцы таких машин уже выпускаются несколькими фирмами:

- nCube (гиперкубические ЭВМ),
- Connection Machine,
- Mass Par,
- NCR/Teradata,
- KSR,
- IBM RS/6000,
- MPP и др.

Необходимо отметить и еще один класс наиболее массовых средств ЭВТ - **встраиваемые микропроцессоры**. Успехи микроэлектроники позволяют создавать миниатюрные вычислительные устройства, вплоть до однокристальных ЭВМ. Эти устройства, универсальные по характеру применения, могут встраиваться в отдельные машины, объекты, системы. Они находят все большее применение в бытовой технике (телефонах, телевизорах, электронных часах, микроволновых печах и т.д.), в городском хозяйстве (энерго-, тепло-, водоснабжении, регулировке движения транспорта и т.д.), на производстве (робототехнике, управлении технологическими процессами). Постепенно они входят в нашу жизнь, все больше изменяя среду обитания человека.

Таким образом, можно предложить следующую классификацию средств вычислительной техники, в основу которой положено их разделение по быстродействию.

- **СуперЭВМ** для решения крупномасштабных вычислительных задач, для обслуживания крупнейших информационных банков данных.

- **Большие ЭВМ** для комплектования ведомственных, территориальных и региональных вычислительных центров.
- **Средние ЭВМ** широкого назначения для управления сложными технологическими производственными процессами. ЭВМ этого типа могут использоваться и для управления распределенной обработкой информации в качестве сетевых серверов.
- **Персональные и профессиональные ЭВМ**, позволяющие удовлетворять индивидуальные потребности пользователей. На базе этого класса ЭВМ строятся автоматизированные рабочие места (АРМ) для специалистов различного уровня.
- **Встраиваемые микропроцессоры**, осуществляющие автоматизацию управления отдельными устройствами и механизмами.

В настоящее время начинают широко использовать *классификацию ЭВМ по их использованию в сетях*.

Класс ЭВМ, используемый в сетях, можно разделить на группы:

- вычислительные системы (ВС);
- кластерные структуры (КС);
- серверы;
- сетевые компьютеры (СК).

ЭВМ каждой из этих групп используются для:

ВС – обслуживание крупных сетевых банков данных.

КС – обслуживание многомашинных распределенных вычислительных систем.

Серверы – управления тем или иным ресурсом сети (файлы, базы данных, приложения и т.д.)

СК – организация пользовательского интерфейса

Высокие скорости вычислений, обеспечиваемые ЭВМ различных классов, позволяют перерабатывать и выдавать все большее количество информации, что, в свою очередь, порождает потребности в создании связей между отдельно используемыми ЭВМ. Поэтому все современные ЭВМ в настоящее время имеют средства подключения к сетям связи и комплексирования в системы.

Перечисленные типы ЭВМ, которые должны использоваться в индустриально развитых странах, образуют некое подобие пирамиды с определенным соотношением численности ЭВМ каждого слоя и набором их технических характеристик. Распределение вычислительных возможностей по слоям должно быть сбалансировано. Например, система обработки данных, которая использовалась на Олимпийских играх в Атланте, содержала 4 больших ЭВМ S/390, 16 систем RS/6000, более 80 систем AS/400, более 7000 IBM PC, более 1000 лазерных принтеров, более 250 локальных сетей Token Ring и др. Многие ПЭВМ имели сопряжение с датчиками скорости, времени и т.д.

Требуемое количество для отдельной развитой страны, такой, как Россия, должно составлять:

суперЭВМ -100-200 шт. (10^2),
 больших ЭВМ – тысячи (10^3),
 средних - десятки и сотни тысяч (10^{4-5}),
 ПЭВМ – миллионы (10^6),
 встраиваемых микроЭВМ – миллиарды (10^9).

Все используемые ЭВМ различных классов образуют машинный парк страны, жизнедеятельность которого и его информационное насыщение определяют успехи информатизации общества и научно-технического прогресса страны. Формирование

сбалансированного машинного парка является сложной политической, экономической и социальной проблемой, решение которой требует много миллиардных инвестиций. Для этого должна быть разработана соответствующая структура: создание специальных производств (элементной базы ЭВМ, программного обеспечения и технических связей), смена поколений машин и технологий, изменение форм экономического и административного управления, создание новых рабочих мест и т.д.

3. Структурная организация ЭВМ различных поколений

Основным принципом построения всех современных ЭВМ является программное управление. В основе его лежит представление алгоритма решения любой задачи в виде программы вычислений.

“Алгоритм - конечный набор предписаний, определяющий решение задачи посредством конечного количества операций”.

“Программа (для ЭВМ) - упорядоченная последовательность команд, подлежащая обработке” (стандарт ISO 2382/1-84).

Следует заметить, что строгого, однозначного определения алгоритма, равно как и однозначных методов его преобразования в программу вычислений, не существует.

Принцип программного управления может быть осуществлен различными способами. Стандартом для построения практически всех ЭВМ стал способ, **описанный Дж. фон Нейманом в 1945 г.** при построении еще первых образцов ЭВМ.

Суть его заключается в следующем.

Все вычисления, предписанные алгоритмом решения задачи, должны быть представлены в виде программы, состоящей из последовательности управляющих слов-команд. Каждая команда содержит указания на конкретную выполняемую операцию, место нахождения (адреса) операндов и ряд служебных признаков. *Операнды* - переменные, значения которых участвуют в операциях преобразования данных. Список (массив) всех переменных (входных данных, промежуточных значений и результатов вычислений) является еще одним неотъемлемым элементом любой программы.

Для доступа к программам, командам и операндам используются их адреса. В качестве адресов выступают номера ячеек памяти ЭВМ, предназначенных для хранения объектов. Информация (командная и данные: числовая, текстовая, графическая и т.п.) кодируется двоичными цифрами 0 и 1. Поэтому различные типы информации, размещенные в памяти ЭВМ, практически неразличимы, идентификация их возможна лишь при выполнении программы, согласно ее логике, по контексту.

Каждый тип информации имеет форматы - структурные единицы информации, закодированные двоичными цифрами 0 и 1. Обычно все форматы данных, используемые в ЭВМ, кратны байту, т.е. состоят из целого числа байтов.

Последовательность битов в формате, имеющая определенный смысл, называется полем. Например, в каждой команде программы различают поле кода операций, поле адресов операндов. Применительно к числовой информации выделяют знаковые разряды, поле значащих разрядов чисел, старшие и младшие разряды.

Последовательность, состоящая из определенного принятого для данной ЭВМ числа байтов, называется словом. Для больших ЭВМ размер слова составляет четыре байта, для ПЭВМ - два байта. В качестве структурных элементов информации различают также полуслово, двойное слово и др.

Схема ЭВМ, отвечающая программному принципу управления, логично вытекает из последовательного характера преобразований, выполняемых человеком по некоторому

алгоритму (программе). Обобщенная структурная схема ЭВМ первых поколений представлена на рис. 1.

В любой ЭВМ имеются устройства ввода информации (УВв), с помощью которых пользователи вводят в ЭВМ программы решаемых задач и данные к ним. Введенная информация полностью или частично сначала запоминается в оперативном запоминающем устройстве (ОЗУ), а затем переносится во внешнее запоминающее устройство (ВЗУ), предназначенное для длительного хранения информации, где преобразуется в специальный программный объект - файл. “Файл - идентифицированная совокупность экземпляров полностью описанного в конкретной программе типа данных, находящихся вне программы во внешней памяти и доступных программе посредством специальных операций (ГОСТ 20866 - 85)”.

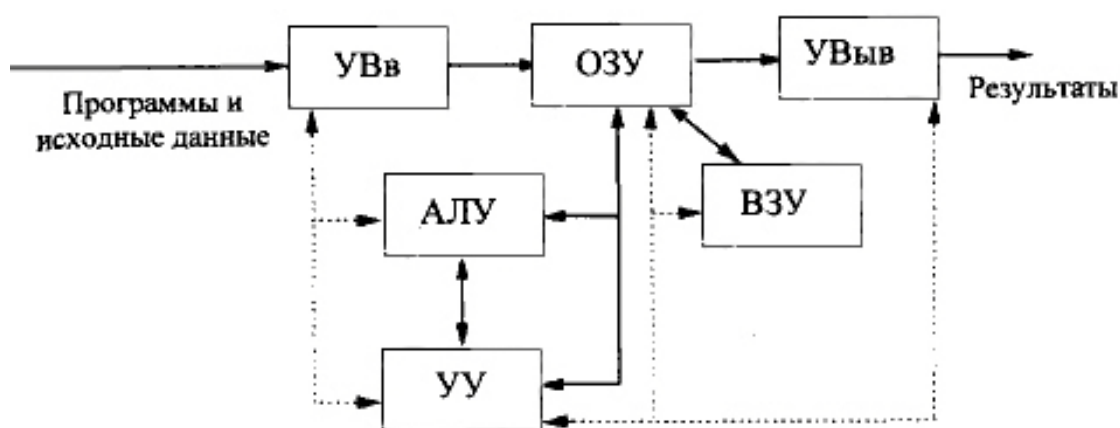


Рис. 1. Структурная схема ЭВМ первого и второго поколений

При использовании файла в вычислительном процессе его содержимое переносится в ОЗУ. Затем программная информация команда за командой считывается в устройство управления (УУ).

Устройство управления предназначается для автоматического выполнения программ путем принудительной координации всех остальных устройств ЭВМ. Цепи сигналов управления показаны на рис. 1. штриховыми линиями. Вызываемые из ОЗУ команды дешифрируются устройством управления: определяются код операции, которую необходимо выполнить следующей, и адреса операндов, принимающих участие в данной операции.

Структура машинной команды:

Код операции	Адресная часть
--------------	----------------

КО	A1	A2	A3
----	----	----	----

В зависимости от количества используемых в команде операндов различаются одно-, двух-, трехадресные и безадресные команды. В одноадресных командах указывается, где находится один из двух обрабатываемых операндов. Второй операнд должен быть помещен заранее в арифметическое устройство (для этого в систему команд вводятся специальные команды пересылки данных между устройствами).

Двухадресные команды содержат указания о двух операндах, размещаемых в памяти (или в регистрах и памяти). После выполнения команды в один из этих адресов засылается результат, а находившийся там операнд теряется.

В трехадресных командах обычно два адреса указывают, где находятся исходные операнды, а третий - куда необходимо поместить результат.

В безадресных командах обычно обрабатывается один операнд, который до и после операции находится на одном из регистров арифметико-логического устройства (АЛУ). Кроме того, безадресные команды используются для выполнения служебных операций (очистить экран, заблокировать клавиатуру, снять блокировку и др.).

Все команды программы выполняются последовательно, команда за командой, в том порядке, как они записаны в памяти ЭВМ (естественный порядок следования команд). Этот порядок характерен для линейных программ, т.е. программ, не содержащих разветвлений. Для организации ветвлений используются команды, нарушающие естественный порядок следования команд. Отдельные признаки результатов r ($r = 0$, $r < 0$, $r > 0$ и др.) устройство управления использует для изменения порядка выполнения команд программы.

Рассмотрим пример выполнения 3-х адресной команды в ЭВМ в соответствии с принципами Дж.фон Неймана. Предположим, что некоторая i -ая команда - эта команда сложения чисел "а" и "b" и полученная сумма должна быть занесена в ЗУ по некоторому адресу.

Пусть:

КО «+» - 01

Код адреса ячейки "а" – **0100**

Код адреса ячейки " b " – **0101**

Сумма заносится в ячейку с адресом **0110**

Тогда код команды в ячейке i – **01 0100 0101 0110**

Эта команда поступает в УУ и дешифруется КО. В результате УУ определяет, какая команда будет выполняться и всем компонентам машины, участвующим в ее реализации, по каналам связи посылается соответствующая информация. После получения от всех компонент ответной информации об их готовности к выполнению операции в УУ, выделяется код адреса первого операнда, т.е. **0100**, который пересылается в ОЗУ. В ОЗУ отыскивается соответствующая ячейка и ее содержимое пересылается в АЛУ.

Все эти действия сопровождаются посылкой компонентами, участвующими в операции, соответствующей информации в УУ.

Далее также обрабатывается второй адрес. В АЛУ образуется сумма $(a+b)$, получив эту информацию, УУ выделяет код последнего адреса и посылает его в ОЗУ. Как только УУ получает информацию, что ячейка с этим адресом найдена, УУ посылает в АЛУ управляющую информацию о посылке суммы в ОЗУ. Таким образом, в ячейке **0110** оказывается "a+b".

К этому моменту содержимое специального счетчика УУ – счетчика команд (СЧ) увеличивается на 1 ($i+1$).

Этот новый адрес посылается в ЗУ и начинается процесс выполнения следующей команды.

Если выполняется команда *безусловной передачи управления* другой команде программы, то в адресной части этой команды находится код адреса, который будет занесен в СЧ.

Если же выполняется команда *условной передачи управления*, то новый код адреса заносится в СЧ только при выполнении условия.

Изложенный процесс работы ЭВМ фон Неймановской архитектуры очень упрощен. На самом деле происходят более сложные процессы, все они по времени строго синхронизированы и в определенной степени совмещаются.

АЛУ выполняет арифметические и логические операции над данными. Основной частью АЛУ является операционный автомат, в состав которого входят **сумматоры, счетчики, регистры, логические преобразователи** и др. Оно каждый раз перенастраивается на выполнение очередной операции. Результаты выполнения отдельных операций сохраняются для последующего использования на одном из регистров АЛУ или записываются в память. Результаты, полученные после выполнения всей программы вычислений, передаются на устройства вывода (УВыв) информации. В качестве УВыв могут использоваться экран дисплея, принтер, графопостроитель и др.

Современные ЭВМ имеют достаточно развитые системы машинных операций. Например, ЭВМ типа IBM PC имеют около 200 различных операций (170 - 230 в зависимости от типа микропроцессора). Любая операция в ЭВМ выполняется по определенной микропрограмме, реализуемой в схемах АЛУ соответствующей последовательностью сигналов управления (микрокоманд). Каждая отдельная микрокоманда - это простейшее элементарное преобразование данных типа алгебраического сложения, сдвига, перезаписи информации и т.п.

Уже в первых ЭВМ для увеличения их производительности широко применялось совмещение операций. При этом последовательные фазы выполнения отдельных команд программы (формирование адресов операндов, выборка операндов, выполнение операции, отсылка результата) выполнялись отдельными функциональными блоками. В своей работе они образовывали своеобразный конвейер, а их параллельная работа позволяла обрабатывать различные фазы целого блока команд. Этот принцип получил дальнейшее развитие в ЭВМ следующих поколений. Но все же первые ЭВМ имели очень сильную централизацию управления, единые стандарты форматов команд и данных, “жесткое” построение циклов выполнения отдельных операций, что во многом объясняется ограниченными возможностями используемой в них элементной базы. Центральное УУ обслуживало не только вычислительные операции, но и операции ввода-вывода, пересылки данных между ЗУ и др. Все это позволяло в какой-то степени упростить аппаратуру ЭВМ, но сильно сдерживало рост их производительности.

В ЭВМ третьего поколения произошло усложнение структуры за счет разделения процессов ввода-вывода информации и ее обработки (рис. 2).

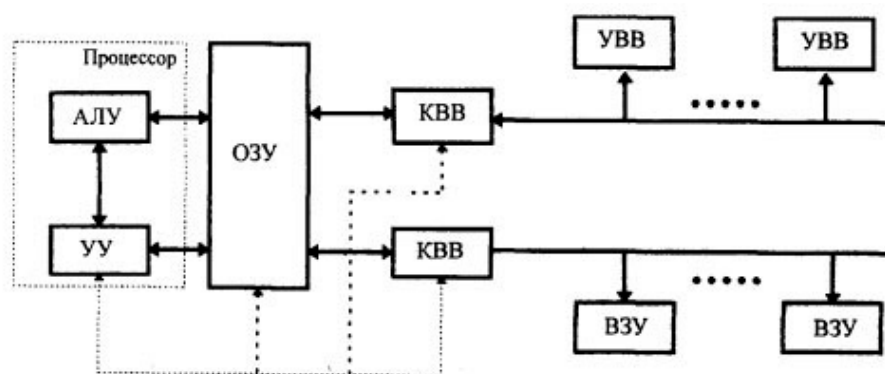


Рис.2. Структурная схема ЭВМ третьего поколения

Сильносвязанные устройства АЛУ и УУ получили название *процессор*, т.е. устройство, предназначенное для обработки данных. В схеме ЭВМ появились также дополнительные устройства, которые имели названия: процессоры ввода-вывода, устройства управления обменом информацией, каналы ввода-вывода (КВВ). Последнее название получило наибольшее распространение применительно к большим ЭВМ. Здесь наметилась тенденция к децентрализации управления и параллельной работе отдельных устройств, что позволило резко повысить быстродействие ЭВМ в целом.

Среди каналов ввода-вывода выделяли **мультиплексные** каналы, способные обслуживать большое количество медленно работающих устройств ввода-вывода (УВВ), и **селекторные каналы**, обслуживающие в многоканальных режимах скоростные внешние запоминающие устройства (ВЗУ).

В персональных ЭВМ, относящихся к ЭВМ четвертого поколения, произошло дальнейшее изменение структуры (рис. 3). Они унаследовали ее от мини-ЭВМ.

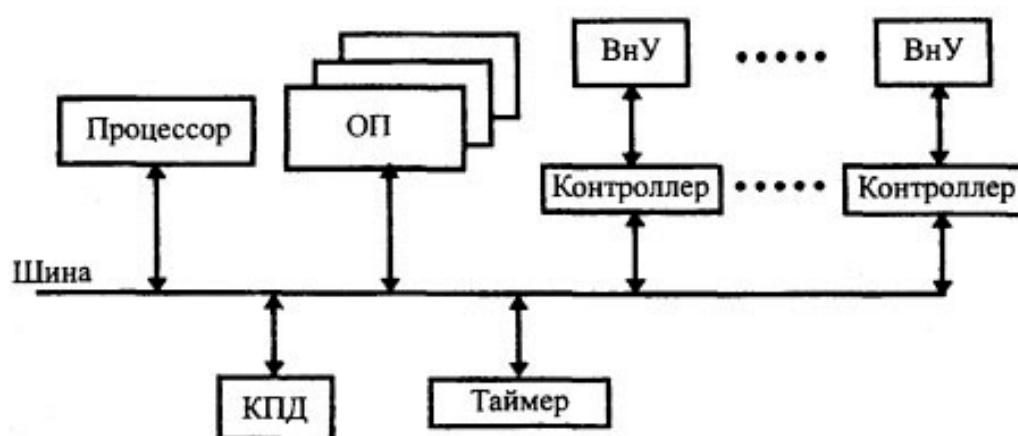


Рис. 3. Структурная схема ПЭВМ

Соединение всех устройств в единую машину обеспечивается с помощью общей шины, представляющей собой линии передачи данных, адресов, сигналов управления и питания. Единая система аппаратных соединений значительно упростила структуру, сделав ее еще более децентрализованной. Все передачи данных по шине осуществляются под управлением сервисных программ.

Ядро ПЭВМ образуют процессор и основная память (ОП), состоящая из оперативной памяти и постоянного запоминающего устройства (ПЗУ). ПЗУ предназначается для записи и постоянного хранения наиболее часто используемых программ управления. Подключение всех внешних устройств (ВнУ), дисплея, клавиатуры, внешних ЗУ и других обеспечивается через соответствующие адаптеры - согласователи скоростей работы сопрягаемых устройств или контроллеры - специальные устройства управления периферийной аппаратурой. Контроллеры в ПЭВМ играют роль каналов ввода-вывода. В качестве особых устройств следует выделить таймер - устройство измерения времени и контроллер прямого доступа к памяти (КПД) - устройство, обеспечивающее доступ к ОП, минуя процессор.

Способ формирования структуры ПЭВМ является достаточно логичным и естественным стандартом для данного класса ЭВМ.

Децентрализация построения и управления вызвала к жизни такие элементы, которые являются общим стандартом структур современных ЭВМ:

- модульность построения,
- магистральность,
- иерархия управления.

Модульность построения предполагает выделение в структуре ЭВМ достаточно автономных, функционально и конструктивно законченных устройств (процессор, модуль памяти, накопитель на жестком или гибком магнитном диске). Модульная конструкция ЭВМ делает ее открытой системой, способной к адаптации и совершенствованию. К ЭВМ можно подключать дополнительные устройства, улучшая ее технические и экономические показатели. Появляется возможность увеличения вычислительной мощности, улучшения структуры путем замены отдельных устройств на более совершенные, изменения и управления конфигурацией системы, приспособления ее к конкретным условиям применения в соответствии с требованиями пользователей.

В современных ЭВМ **принцип децентрализации и параллельной работы** распространен как на периферийные устройства, так и на сами ЭВМ (процессоры). Появились вычислительные системы, содержащие несколько *вычислителей* (ЭВМ или процессоры), работающие согласованно и параллельно. Внутри самой ЭВМ произошло еще более резкое разделение функций между средствами обработки. Появились отдельные специализированные сопроцессоры, например сопроцессоры, выполняющие обработку чисел с плавающей точкой, матричные процессоры и др.

Все существующие типы ЭВМ выпускаются *семействами*, в которых различают старшие и младшие модели. Всегда имеется возможность замены более слабой модели на более мощную. Это обеспечивается информационной, аппаратурной и программной совместимостью. Программная совместимость в семействах устанавливается по принципу снизу-вверх, т.е. программы, разработанные для ранних и младших моделей, могут обрабатываться и на старших, но не обязательно наоборот.

Модульность структуры ЭВМ требует стандартизации и унификации оборудования, номенклатуры технических и программных средств, средств сопряжения - интерфейсов, конструктивных решений, унификации типовых элементов замены, элементной базы и нормативно-технической документации. Все это способствует улучшению технических и эксплуатационных характеристик ЭВМ, росту технологичности их производства.

Децентрализация управления предполагает *иерархическую организацию структуры ЭВМ*. Централизованное управление осуществляет устройство управления главного, или центрального, процессора. Подключаемые к центральному процессору модули (контроллеры и КВВ) могут, в свою очередь, использовать специальные *шины или магистрали* для обмена управляющими сигналами, адресами и данными. Инициализация работы модулей обеспечивается по командам центральных устройств, после чего они продолжают работу по собственным программам управления. Результаты выполнения требуемых операций представляются ими “вверх по иерархии” для правильной координации всех работ.

Иерархический принцип построения и управления характерен не только для структуры ЭВМ в целом, но и для отдельных ее подсистем. Например, поэтому же принципу строится система памяти ЭВМ.

Так, с точки зрения пользователя желательно иметь в ЭВМ оперативную память большой информационной емкости и высокого быстродействия. Однако одноуровневое построение памяти не позволяет одновременно удовлетворять этим двум противоречивым

требованиям. Поэтому память современных ЭВМ строится по многоуровневому, пирамидальному принципу.

В состав процессоров может входить сверхоперативное запоминающее устройство небольшой емкости, образованное несколькими десятками регистров с быстрым временем доступа (единицы нс). Здесь обычно хранятся данные, непосредственно используемые в обработке.

Следующий уровень образует кэш-память или память блочного типа. Она представляет собой буферное запоминающее устройство, предназначенное для хранения активных страниц объемом десятки и сотни Кб. Время обращения к данным составляет 10-20 нс, при этом может использоваться ассоциативная выборка данных. Кэш-память, как более быстродействующая ЗУ, предназначена для ускорения выборки команд программы и обрабатываемых данных. Сами же программы пользователей и данные к ним размещаются в оперативном запоминающем устройстве (емкость - миллионы машинных слов, время выборки - до 100 нс).

Часть машинных программ, обеспечивающих автоматическое управление вычислениями и используемых наиболее часто, может размещаться в постоянном запоминающем устройстве (ПЗУ). На более низких уровнях иерархии находятся внешние запоминающие устройства на магнитных носителях: на жестких и гибких магнитных дисках, магнитных лентах, магнитооптических дисках и др. Их отличает более низкое быстродействие и очень большая емкость.

Организация заблаговременного обмена информационными потоками между ЗУ различных уровней при децентрализованном управлении ими позволяет рассматривать иерархию памяти как единую абстрактную кажущуюся (виртуальную) память. Согласованная работа всех уровней обеспечивается под управлением программ операционной системы. Пользователь имеет возможность работать с памятью, намного превышающей емкость ОЗУ.

Децентрализация управления и структуры ЭВМ позволила перейти к более сложным **многопрограммным (мультипрограммным)** режимам. При этом в ЭВМ одновременно может обрабатываться несколько программ пользователей.

В ЭВМ, имеющих один процессор, многопрограммная обработка является кажущейся. Она предполагает параллельную работу отдельных устройств, задействованных в вычислениях по различным задачам пользователей. Например, компьютер может производить распечатку каких-либо документов и принимать сообщения, поступающие по каналам связи. Процессор при этом может производить обработку данных по третьей программе, а пользователь - вводить данные или программу для новой задачи, слушать музыку и т.п.

В ЭВМ или вычислительных системах, имеющих несколько процессоров обработки, многопрограммная работа может быть более глубокой. Автоматическое управление вычислениями предполагает усложнение структуры за счет включения в ее состав систем и блоков, разделяющих различные вычислительные процессы друг от друга, исключающие возможность возникновения взаимных помех и ошибок (системы прерываний и приоритетов, защиты памяти). Самостоятельного значения в вычислениях они не имеют, но являются необходимым элементом структуры для обеспечения этих вычислений.

Как видно, более чем полувековая история развития ЭВТ дала не очень широкий спектр основных структур ЭВМ. Все приведенные структуры не выходят за пределы классической структуры фон Неймана. Их объединяют следующие Традиционные признаки:

- ядро ЭВМ образует процессор - единственный вычислитель в структуре, дополненный каналами обмена информацией и памятью;
- линейная организация ячеек всех видов памяти фиксированного размера;
- одноуровневая адресация ячеек памяти, стирающая различия между всеми типами информации;
- внутренний машинный язык низкого уровня, при котором команды содержат элементарные операции преобразования простых операндов;
- последовательное централизованное управление вычислениями;
- достаточно примитивные возможности устройств ввода-вывода.

Несмотря на все достигнутые успехи, классическая структура ЭВМ не обеспечивает возможностей дальнейшего увеличения производительности. Наметился кризис, обусловленный рядом существенных недостатков:

- ✓ плохо развитые средства обработки нечисловых данных (структуры, символы, предложения, графические образы, звук, очень большие массивы данных и др.);
- ✓ несоответствие машинных операций операторам языков высокого уровня;
- ✓ примитивная организация памяти ЭВМ;
- ✓ низкая эффективность ЭВМ при решении задач, допускающих параллельную обработку и т.п.

Все эти недостатки приводят к чрезмерному усложнению комплекса программных средств, используемого для подготовки и решения задач пользователей.

В ЭВМ будущих поколений, с использованием в них «встроенного искусственного интеллекта», предполагается дальнейшее усложнение структуры; В-первую очередь это касается совершенствования процессов общения пользователей с ЭВМ (использование аудио-, видеоинформации, систем мультимедиа и др.), обеспечения доступа к базам данных и базам знаний, организации параллельных вычислений. Несомненно, что этому должны соответствовать новые параллельные структуры с новыми принципами их построения, в которых более выгодным является показатель отношения **производительности /стоимость**.