

# Лекция 1. Этапы развития персональных ЭВМ. Архитектуры микропроцессоров CISC, RISC, MISC

## 1. Технические предпосылки и практические потребности создания ЭВМ

Основными техническими предпосылками создания ЭВМ являются развитие электроники и опыт, накопленный в процессе разработки счетных и счетно-аналитических машин на перфокартах.

### Механические счетные машины

Первые попытки облегчить процесс вычислений человечество предприняло уже в самом начале своей сознательной деятельности. Сначала выполнялся «счет на пальцах», затем на смену пальцам пришли палочки, косточки на проволоке (счеты), а позже более удобные для вычислений счетные механизмы, механические счетные машинки и т. д.

Счет на пальцах сыграл громадную роль не только для облегчения вычислений, но и в развитии математики. Пальцам обязана своим существованием десятичная система счисления; пальцевой счет нашел отражение в цифровых обозначениях древних вавилонян и египтян. У древних римлян было введено пальцевое изображение чисел, различные загибы пальцев обозначали единицы, десятки, сотни и тысячи, а определенные жесты рук позволяли считать до миллиона.

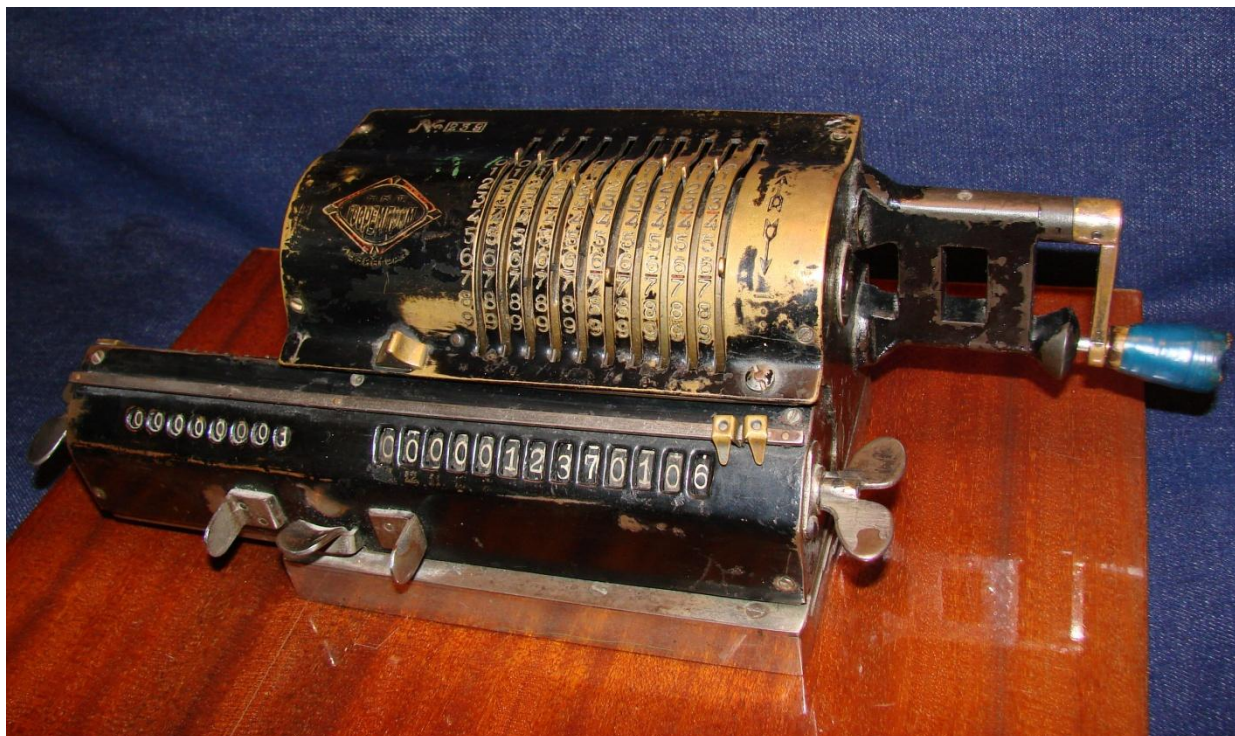
Широкое распространение у древних народов получил *абак* — счетный прибор, на котором отмечены места (колонки или строчки) для разных разрядов чисел. Косточки, жетоны, камешки, размещенные на этих местах, имеют различное числовое значение, то есть в абаке используется позиционная система счисления. Самым распространенным абакон, широко используемым и в настоящее время, являются счеты.

XVII век был весьма плодотворным в научном отношении. В этом веке были заложены научные основы физики и механики, химии и астрономии, математики переменных величин (анализ бесконечно малых), созданы первые счетные машины.

В 1623 году профессор математики Тюбингенского университета Вильгельм Шиккард предложил первую из известных ныне счетных машин. Эта машина состояла из трех частей: 6-разрядных десятичных суммирующего и множительного устройств, а также механизма для записи промежуточных результатов. Все взаимосвязи устройств машины между собой осуществлялись, как и во всех последующих механических арифмометрах, с помощью зубчатых передач, а для перехода в следующий десятичный разряд использовалось косозубое колесо с одним пальцем. Машина Шиккарда не получила широкого распространения, и поэтому многие годы считалось, что первый арифмометр создал в 1642 году известный французский математик Блез Паскаль.

Из широко известных механических счетных машин следует назвать машины Лейбница (1673 г.), Мюллера (1786 г.), Томаса (1820 г., впервые предложено название «арифмометр»), Чебышева (1878 г.) и, безусловно, самый распространенный арифмометр — арифмометр В. Т. Однера (1890 г.).

В арифмометре Однера было использовано много механических новшеств, в частности колесо Однера, которое использовалось впоследствии во всех механических счетных машинах. Арифмометр Однера выпускался во многих странах и под разными названиями. В СССР наиболее известный и самый распространенный вариант этого арифмометра — арифмометр «Феликс». Внешний вид арифмометра Однера показан на рис. 1.



## Электромеханические счетные машины

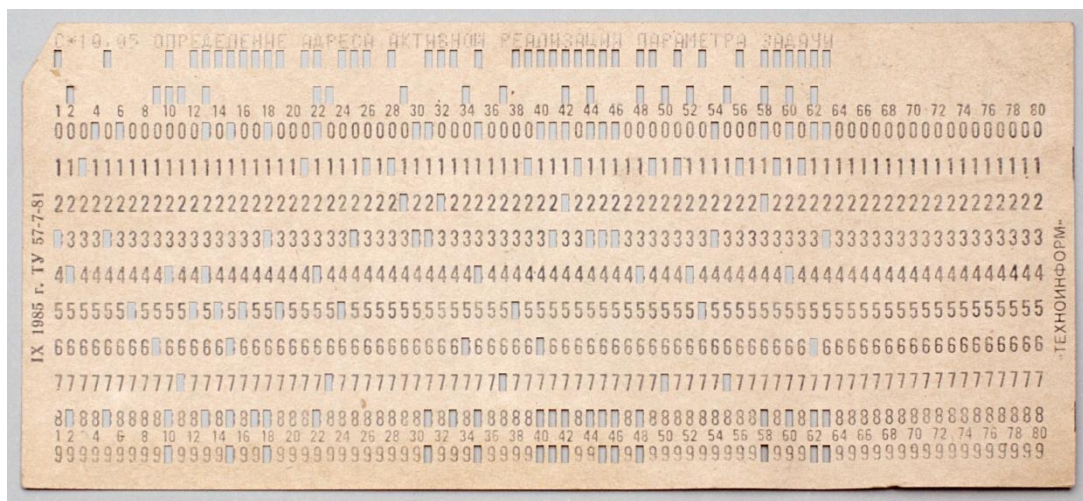
В конце XIX века в связи с развитием науки и техники потребность в счетных машинах настолько возросла, что ее перестали удовлетворять и арифмометры Однера, и другие типы механических счетных машин. Последним и решающим толчком к созданию более производительных машин послужили потребности по обработке переписей населения, которые стали проводиться регулярно во многих странах.

Поскольку к этому времени достаточно хорошее развитие получила теория электричества, и в частности теория слабых токов, перспективным направлением развития счетных машин стало использование в них электрических и электромеханических компонентов.

Наступила эра электромеханических машин, развитие которых пошло по двум направлениям:

1. *Использование электричества как движущей силы внутри счетных машин.* Это направление привело к созданию класса электрических, а затем электронных клавишных машин, информация в которые вводилась вручную с помощью клавиатуры (повысилась скорость и точность вычислений, но недостаточной оставалась степень автоматизации вычислений).
2. *Использование электричества в устройствах ввода и вывода информации при использовании перфокарт* (повысилась скорость ввода и вывода информации и автоматизация вычислений, поскольку на перфокарты наносилась не только числовая, но и программная информация).

Перфокарты впервые были использованы для программного управления станками Ж. М. Жаккардом в 1801 году. В 1888 году Г. Холлерит предложил аналитическую счетную машину, которую назвал *табулятором*. Для ввода информации в ней использовались перфокарты — карточки, разделенные на колонки и строчки, в каждой колонке по 10 строчек. Позиция колонки и строчки определяет конкретную информацию.



В 1833 году английский ученый, профессор Кембриджского университета Чарльз Бэббидж разработал проект автоматической «аналитической машины» — вычислительного устройства, по своей схеме и принципам работы в некоторых аспектах приближающегося к современным ЭВМ.

В машине Бэббиджа предлагались следующие устройства:

- устройство хранения информации на регистрах, выполненных на зубчатых колесах, которое Бэббидж назвал «складом»;
- устройство для выполнения операций над числами, взятыми со «склада», названное «фабрикой»;
- для управления последовательностью операций и их исполнением служило устройство управления, использовавшее перфокарты;
- устройство ввода-вывода.

Проект Бэббиджа существенно опередил свое время, оказался невостребованным и нереализованным. Даже материалы об этой машине были опубликованы только в 1888 году, уже после смерти автора.

В 1930 году была создана первая электромеханическая аналоговая вычислительная машина, автором машины был профессор Массачусетского технологического института Ванневар Буш. Аналоговые машины сразу же нашли широкое применение в военной технике.

В 1937 году английский математик, профессор Кембриджского университета Алан Тьюринг опубликовал статью, в которой предложил концепцию абстрактной универсальной вычислительной машины — «машины Тьюринга».

Вспыхнувшая в 1939 году вторая мировая сделала весьма востребованными именно высокопроизводительные вычислительные устройства. Без них создание новых типов вооружений становилось бы просто невозможным, так как на выполнение сложных математических расчетов требовалось время, превышающее продолжительность человеческой жизни.

Таким образом, вопрос о необходимости эффективных вычислительных технологий и, естественно, высокопроизводительных электромеханических и электронных машин стоял весьма остро.

Первые электромеханические вычислительные машины с программным управлением были созданы в начале 40-х годов прошлого века. Работы по их созданию активно велись в Германии (под руководством инженера К. Цузе) и в США (под руководством Г. Айкена и Дж. Стибица).

## Электронные вычислительные машины

Первая электронная вычислительная машина на основе электронных вакуумных ламп с нитью накаливания была создана по заказу артиллеристов в Пенсильванском университете в 1946 году — машина ENIAC (Electronic Numeral Integrator and Computer).

На роль первой вычислительной машины также претендуют созданные в 1943 году вычислитель Collosus, разработанный под руководством Макса Ньюмена при участии Алана Тьюринга, и специализированный электронный калькулятор профессора Джорджа Атанасова ABC (Atanasoff Berry Computer).

Это были вычислительные машины с программным управлением, но программа вводилась в них извне — путем штекерного набора, как в табуляторах.

В середине 40-х годов появились теоретические разработки, указывающие, что более эффективными могут быть *машины с хранимой программой*. В этом направлении следует отметить в первую очередь работы Норберта Винера и Джона фон Неймана.

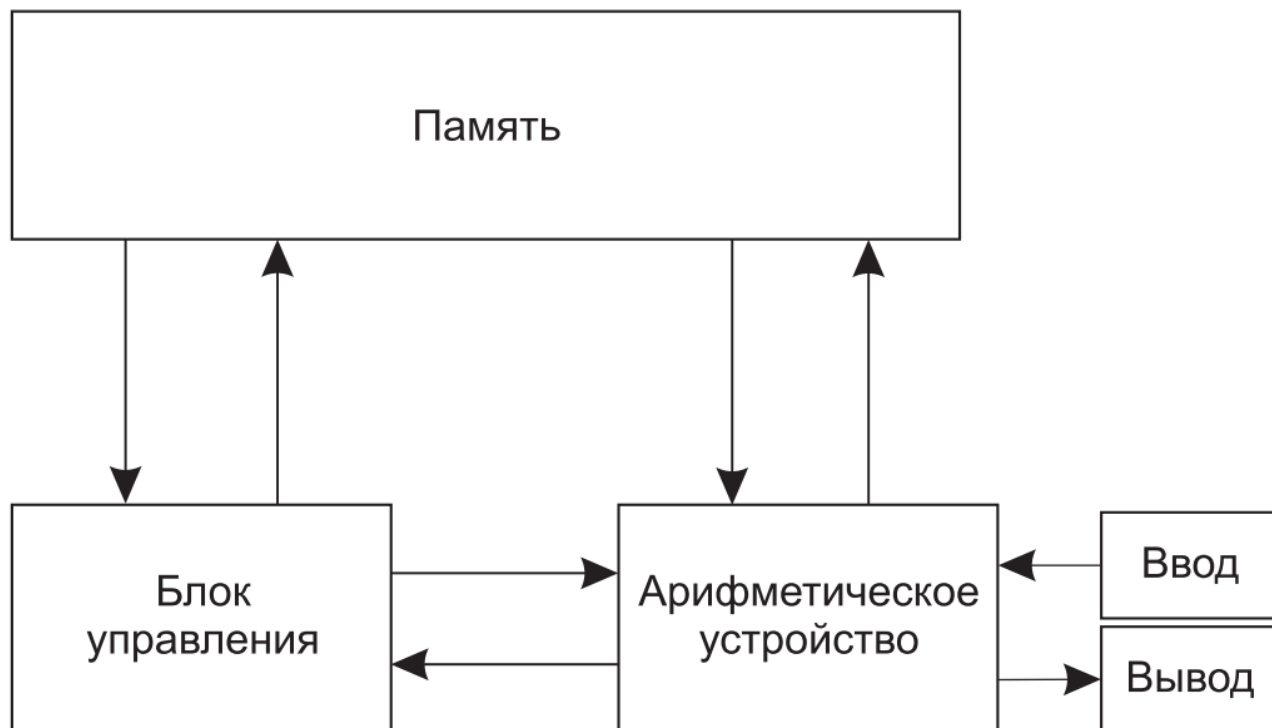
Широко известная концепция построения ЭВМ, предложенная профессором Принстонского института Дж. фон Нейманом, во многом перекликается с концепцией Винера.

#### **Основные принципы организации ЭВМ по Дж. фон Нейману:**

1. **Принцип двоичного кодирования.** Электронные машины должны работать не в десятичной, а в двоичной системе счисления.
2. **Принцип программного управления.** Машина выполняет вычисления по программе. Программа состоит из набора команд, которые исполняются автоматически друг за другом в определенной последовательности.
3. **Принцип хранимой программы.** В процессе решения задачи программа ее исполнения должна размещаться в запоминающем устройстве машины, обладающем высокой скоростью выборки и записи.
4. **Принцип однотипности представления чисел и команд.** Программа, так же как и числа, с которыми оперирует машина, записывается в двоичном коде. Таким образом, по форме представления команды и числа однотипны, а это дает возможность машине исполнять операции над командами программы.
5. **Принцип иерархичности памяти.** Трудности реализации единого емкого быстродействующего запоминающего устройства требуют иерархического построения памяти. Должно быть по меньшей мере два уровня иерархии: основная память и внешняя память.
6. **Принцип адресности основной памяти.** Основная память должна состоять из пронумерованных ячеек, каждая из которых доступна программе в любой момент времени по ее двоичному адресу или по присвоенному ей имени (имя ячейке присваивается в программе, и соответствующий этому имени адрес должен храниться в основной памяти на протяжении всего времени выполнения программы).

Структура ЭВМ, предложенная Дж. фон Нейманом, должна содержать следующие устройства: *управляющее устройство, арифметическое устройство, основную (оперативную) и внешнюю память, устройство ввода программ и данных, устройство вывода результатов расчетов, пульт ручного управления.*

Структура фон-неймановской ЭВМ показана на рис. 2.



Концепции Винера и Неймана быстро нашли свое воплощение в новых ЭВМ, созданных уже в конце 40-х — начале 50-х годов.

## 2. Эволюция ЭВМ

Начиная с 1950 года каждые 7–10 лет кардинально обновлялись конструктивно-технологические и программно-алгоритмические принципы построения и использования ЭВМ. В связи с этим правомерно говорить о поколениях вычислительных машин.

Условно каждому поколению можно отвести 10 лет.

### Первое поколение ЭВМ: 1950–1960 годы

Логические схемы создавались на дискретных радиодеталях и электронных вакуумных лампах с нитью накала.

В оперативных запоминающих устройствах использовались магнитные барабаны, акустические ультразвуковые ртутные и электромагнитные линии задержки, электронно-лучевые трубки (ЭЛТ); позже — магнитные ферритовые сердечники.

В качестве внешних запоминающих устройств применялись накопители на магнитных лентах, перфокартах, перфолентах и штекерные коммутаторы.

Напряжения питания компьютерных схем составляли десятки — сотни вольт, а в случае использования ЭЛТ и киловольты. Машины потребляли несколько десятков киловатт. Они имели центральное устройство управления (УУ), обеспечивающее строго последовательную работу всех основных устройств. Тактовая частота работы УУ была в пределах десятков — сотен килогерц. Ввод-вывод информации осуществлялся с перфокарт, перфолент, магнитных лент или с клавиатуры.

Программирование работы ЭВМ этого поколения выполнялось в двоичной системе счисления на машинном языке, то есть программы были жестко ориентированы на конкретную модель машины и «умирали» вместе с этими моделями.

Только в середине 50-х годов появились машинно-ориентированные языки типа языков символического кодирования (ЯСК), позволявшие вместо двоичной записи команд и адресов использовать их сокращенную словесную (буквенную) запись и десятичные числа. В 1956 году был создан первый язык программирования высокого уровня для математических задач — язык ФОРТРАН, а в 1958 году — универсальный язык программирования АЛГОЛ.

Надежность машин первого поколения была крайне низкой — несколько десятков часов наработки на отказ. Для поддержания приемлемого уровня надежности машины требовали регулярного ежесуточного профилактического обслуживания, во время которого выявлялись и заменялись потенциально ненадежные элементы (еженедельное обслуживание было более тщательным, нежели ежесуточное, а ежемесячное еще более трудоемким).

Работал на машине непосредственно программист, чуть позже — оператор, но и тот и другой общались с ЭВМ посредством громадного пульта, имевшего большое число переключателей (тумблеров) и световых индикаторов (лампочек), отображавших информацию в двоичной системе счисления (горит — не горит лампочка).

Организационно ЭВМ эксплуатировались в составе вычислительных центров, причем для эффективного использования каждой ЭВМ необходим был штат 10–20 программистов (программы с одной машины на другую, как правило, не переносились).

В те годы количество программистов существенно превышало количество имевшихся ЭВМ (в 1960 году во всем мире насчитывалось всего несколько тысяч машин).

## **Второе поколение ЭВМ: 1960–1970 годы**

Логические схемы строились на дискретных полупроводниковых и магнитных элементах (диоды, биполярные транзисторы, тороидальные ферритовые микротрансформаторы). В качестве конструктивно-технологической основы использовались схемы с печатным монтажом (платы из фольгированного гетинакса). Широко стал использоваться блочный принцип конструирования машин, который позволяет подключать к основным устройствам большое число разнообразных внешних устройств, что обеспечивает большую гибкость использования компьютеров.

Тактовые частоты работы электронных схем повысились до сотен кГц.

Напряжение питания схем снизилось до 10–15 В, потребляемая мощность — до сотен ватт. Надежность работы ЭВМ существенно возросла — до нескольких сотен часов наработки на отказ. Регулярное профилактическое обслуживание по-прежнему требовалось.

В оперативных запоминающих устройствах чаще всего использовались миниатюрные тороидальные ферритовые сердечники с прямоугольной петлей гистерезиса (для хранения одного бита информации требовались 1 или 2 сердечника с наружным диаметром 1–1,2 мм). Постоянные запоминающие устройства были трансформаторные (один тороидальный сердечник с наружным диаметром 3–4 мм использовался для хранения битов одного разряда нескольких сотен чисел; для хранения кода «1» провод «прошивался» в отверстие сердечника, для хранения кода «0» провод проходил мимо сердечника).

Стали применяться внешние накопители на жестких магнитных дисках и на флоппи-дисках — промежуточный уровень памяти между накопителями на магнитных лентах и оперативной памятью.

В 1964 году появился первый монитор для компьютеров — IBM-2250. Это был монохромный дисплей с экраном 12 × 12 дюймов и разрешением 1024 × 1024 пикселей.

Он имел частоту кадровой развертки 40 Гц. Устройство управления ЭВМ поддерживало систему прерываний программ, многопрограммную работу и параллельность использования устройств машины.

Появились первые операционные системы и алгоритмические языки машинно-ориентированного низкоуровневого (ассемблеры) и высокоуровневого программирования (Кобол, Бейсик и др.). Программы стали переносимыми с одного типа компьютера на другой.

Создаваемые на базе компьютеров системы управления потребовали от ЭВМ более высокой производительности, а главное — надежности. В компьютерах стали широко использоваться коды с обнаружением и исправлением ошибок, встроенные схемы контроля.

В машинах второго поколения были впервые реализованы режимы пакетной обработки и телеобработки информации.

В 60-х годах мировое количество ЭВМ возросло по сравнению с 50-ми годами на порядок. Так, в 1966 году количество установленных машин составляло:

- в США — 27 000,
- в Западной Европе — 6000,
- в Японии — 1900

В середине 60-х и у нас в стране, и за рубежом внимание впервые акцентировали на надежности ЭВМ и их системном использовании. Поэтому в СССР было принято постановление ЦК КПСС о разработке семейств ЭВМ на базе крупных компьютерных предприятий, о создании строгой системы унификации схем и узлов ЭВМ. По этому же постановлению стали разрабатываться программно-совместимые и технически-совместимые системы вычислительных машин.

Что касается системного применения ЭВМ, то в середине 60-х годов существенно изменилась технология их использования. Появились технологии создания больших баз данных в памяти ЭВМ, осуществлялась выдвинутая академиком Глушковым программа «АСУПизации» всей страны, массового создания АСУП (автоматизированных систем управления предприятиями). В связи с этим при использовании ЭВМ рекомендовалось и программы, и данные постоянно хранить в памяти машины и использовать ее по мере надобности.

**Итак, основные направления совершенствования ЭВМ второго поколения:**

1. Переход на полупроводниковую элементную базу и печатный монтаж.
2. Блочный принцип конструирования и унификация ячеек и блоков ЭВМ.
3. Облегчение программирования для ЭВМ.
4. Ориентация ЭВМ не только на вычислительную работу, но и на работу с массивами информации.
5. Повышение надежности работы машин, использование кодов с обнаружением и исправлением ошибок и встроенных схем контроля.
6. Расширение областей применения ЭВМ.

### **Третье поколение ЭВМ: 1970–1980 годы**

В 1958 году Р. Нойс изобрел малую кремниевую интегральную схему, в которой на небольшой площади можно было размещать десятки транзисторов. Эти схемы позже стали называться схемами с малой степенью интеграции (Small Scale Integrated circuits — SSI). А уже в конце 60-х годов интегральные схемы стали применяться в компьютерах. Логические схемы ЭВМ 3-го поколения уже полностью строились на малых интегральных схемах. Тактовые частоты работы электронных схем повысились до единиц мегагерц. Снизились напряжения питания (единицы вольт) и потребляемая машиной мощность. Существенно повысились надежность и быстродействие ЭВМ.

В оперативных запоминающих устройствах использовались миниатюрные ферритовые сердечники, ферритовые пластины и магнитные пленки с прямоугольной петлей гистерезиса. В

качестве внешних запоминающих устройств широко стали использоваться дисковые накопители. Появилось еще два уровня запоминающих устройств: сверхоперативные запоминающие устройства на триггерных регистрах, имеющие огромное быстродействие, но небольшую емкость (десятки чисел), и быстродействующая кэш-память. Операционные системы стали поддерживать технологию использования виртуальной памяти.

Ввиду существенного усложнения как аппаратной, так и логической структуры ЭВМ 3-го поколения часто стали называть системами.

В вычислительных машинах третьего поколения значительное внимание уделяется уменьшению трудоемкости программирования, эффективности исполнения программ в машинах и улучшению общения оператора с машиной. Это обеспечивается мощными операционными системами, развитой системой автоматизации программирования, эффективными системами прерывания программ, режимами работы с разделением машинного времени, режимами работы в реальном времени, мультипрограммными режимами работы и новыми интерактивными режимами общения. Появилось и эффективное видеотерминальное устройство общения оператора с машиной — видеомонитор или дисплей.

Большое внимание уделено повышению надежности и достоверности функционирования ЭВМ и облегчению их технического обслуживания. Достоверность и надежность обеспечиваются повсеместным использованием кодов с автоматическим обнаружением и исправлением ошибок (корректирующие коды Хемминга и циклические коды).

На основе машин 3-го поколения организуются и многочисленные информационно-вычислительные сети различного типа и назначения.

Акцент в использовании машин стал смещаться от вычислительной работы к информационной. С этой целью, в частности, в систему команд были введены многие операции работы с кодированной символьной информацией, и активно стала использоваться специальная единица информации — байт. Большое развитие получили и разнообразные устройства ввода-вывода информации.

Модульная организация вычислительных машин и модульное построение их операционных систем создали широкие возможности для изменения конфигурации вычислительных систем. В связи с этим возникло новое понятие «архитектура вычислительной системы», определяющее логическую организацию этой системы с точки зрения пользователя и программиста.

#### **Четвертое поколение ЭВМ: 1980–1990 годы**

Революционным событием в развитии компьютерных технологий четвертого поколения машин было создание больших (БИС) и сверхбольших (СБИС) интегральных схем (Large Scale Integration — LSI и Very Large Scale Integration — VLSI), микропроцессора (1969 г.) и персонального компьютера. Начиная с 1980 года практически все ЭВМ стали создаваться на основе микропроцессоров. Самым востребованным компьютером стал персональный.

Логические интегральные схемы в компьютерах стали создаваться на основе униполярных полевых CMOS-транзисторов с непосредственными связями, работающих с меньшими амплитудами электрических напряжений (единицы вольт), потребляющих меньше мощности, нежели биполярные, и тем самым позволяющих реализовать более прогрессивные нанотехнологии (в те годы — масштаба единиц микрон).



Оперативная память стала строиться не на ферритовых сердечниках, а на интегральных CMOS-транзисторных схемах, причем непосредственно запоминающим элементом в них служила паразитная емкость между электродами (затвором и истоком) этих транзисторов.

Первый персональный компьютер создали в апреле 1976 года два друга, Стив Джобс (1955 г. р.) — сотрудник фирмы Atari, и Стефан Возняк (1950 г. р.), работавший на фирме Hewlett-Packard. На базе интегрального 8-битного контроллера жестко запаянной схемы популярной электронной игры, работая вечерами в автомобильном гараже, они сделали простенький программируемый на языке Бейсик игровой компьютер «Apple», который имел бешеный успех. В начале 1977 года была зарегистрирована Apple Comp., и началось производство первого в мире персонального компьютера «Apple».

Эволюцию IBM PC, а позднее и их характеристики, рассмотрим более подробно.

**1981** год. Выпуск первой модели IBM PC 5150. Его основные характеристики: □ □

процессор i8088 с тактовой частотой 4,75 МГц;

емкость оперативной и постоянной памяти по 64 Кбайт; □

емкость дискеты 5,25" флоппи-дискета 160 Кбайт.

**1982** год. Удвоена емкость дискет, выпущена MS-DOS 1.1. □ □

**1983** год. Выпущен IBM PC XT (eXtended Technology), RAM 640 Кбайт, винчестер 10 Мбайт. Анонсирована операционная система DOS 2.0.

**1984** год. Выпущен IBM PC AT (Advanced Technology), процессор — i80286, цветной монитор, винчестер 20 Мбайт, операционная система DOS 3.1.

**1986** год. Выпущен первый лэптоп (портативный ПК) весом около 5 кг. □ □

**1987** год. Первый ПК с микропроцессором i386, дискеты — 3,5".

**1989** год. Первый ПК с микропроцессором i486. □ □

**1992** год. Анонсирована линейка ноутбуков Think Pad. □ □

**1994** год. Первый ПК с микропроцессором Pentium.

**1997** год. Выпуск серверов с операционной системой MS Windows NT.

**2001** год. Широко отмечалось 20-летие создания фирмой IBM первого массового ПК.

**2005** год. Первые многоядерные микропроцессоры в ПК.

Для эффективного использования ЭВМ уже не были нужны несколько программистов: в середине 80-х годов один программист приходился в среднем на 10 машин.

### **Пятое поколение ЭВМ: 1990 год – настоящее время**

Кратко основную концепцию ЭВМ пятого поколения можно сформулировать следующим образом.

1. Компьютеры на сверхсложных микропроцессорах с параллельно-векторной структурой, одновременно выполняющих десятки последовательных инструкций программы.
2. Компьютеры со многими сотнями параллельно работающих процессоров, позволяющих строить системы обработки данных и знаний, эффективные сетевые компьютерные системы.

### 3. Архитектуры микропроцессоров CISC, RISC

Современная технология программирования ориентирована на языки высокого уровня (ЯВУ), главная цель которых — облегчить процесс программирования. Переход к ЯВУ, однако, породил серьезную проблему: сложные операторы, характерные для ЯВУ, существенно отличаются от простых машинных операций, реализуемых в большинстве вычислительных машин. Проблема получила название *семантического разрыва*, а ее следствием становится недостаточно эффективное выполнение программ на ВМ. Пытаясь преодолеть семантический разрыв, разработчики вычислительных машин в настоящее время выбирают один из трех подходов и, соответственно, один из трех типов *архитектур системы команд* (АСК):

- архитектуру с полным набором команд: CISC (Complex Instruction Set Computer);
- архитектуру с сокращенным набором команд: RISC (Reduced Instruction Set Computer);

В вычислительных машинах типа CISC проблема семантического разрыва решается за счет расширения системы команд, дополнения ее сложными командами, семантически аналогичными операторам ЯВУ. Основоположником CISC-архитектуры считается компания IBM, которая начала применять данный подход с семейства машин IBM 360 и продолжает его в своих мощных современных универсальных ВМ, таких как IBM ES/9000. Аналогичный подход характерен и для компании Intel в ее микропроцессорах серии 8086 и Pentium.

Для CISC-архитектуры типичны:

- наличие в процессоре сравнительно небольшого числа регистров общего назначения;
- большое количество машинных команд, некоторые из них аппаратно реализуют сложные операторы ЯВУ;
- разнообразие способов адресации операндов;
- множество форматов команд различной разрядности;
- наличие команд, где обработка совмещается с обращением к памяти.

К типу CISC можно отнести практически все ВМ, выпускавшиеся до середины 1980-х годов, и значительную часть производящихся в настоящее время. Рассмотренный способ решения проблемы семантического разрыва вместе с тем ведет к усложнению аппаратуры ВМ, главным образом устройства управления, что, в свою очередь, негативно сказывается на производительности ВМ в целом. Это заставило более внимательно проанализировать программы, получаемые после компиляции с ЯВУ. Был предпринят комплекс исследований, в результате которых обнаружилось, что доля дополнительных команд, эквивалентных операторам ЯВУ, в общем объеме программ **не превышает 10-20%**, а для некоторых наиболее сложных команд даже 0,2%. В то же время объем аппаратных средств, требуемых для реализации дополнительных команд, возрастает весьма существенно. Так, емкость микропрограммной памяти при поддержании сложных команд может увеличиваться на 60%.

Детальный анализ результатов упомянутых исследований привел к серьезному пересмотру традиционных решений, следствием чего стало появление **RISC-архитектуры**. Термин RISC впервые был использован Д. Паттерсоном и Д. Дитцелем в 1980 году. Идея заключается в ограничении списка команд ВМ наиболее часто используемыми простейшими командами, оперирующими данными, размещенными только в регистрах процессора. Обращение к памяти допускается лишь с помощью специальных команд чтения и записи. Резко уменьшено количество форматов команд и способов указания адресов операндов. Сокращение числа форматов команд и их простота, использование ограниченного количества способов адресации, отделение операций обработки данных от операций обращения к памяти позволяет существенно упростить аппаратные средства ВМ

и повысить их быстродействие. RISC-архитектура разрабатывалась таким образом, чтобы уменьшить ТВИЧ за счет сокращения CPI и I/. Как следствие, реализация сложных команд за счет последовательности из простых, но быстрых RISC-команд оказывается не менее эффективной, чем аппаратный вариант сложных команд в CISC-архитектуре. Отметим, что в последних микропроцессорах фирмы Intel и AMD широко используются идеи, свойственные RISC-архитектуре, так что многие различия между CISC и RISC постепенно стираются.

Таблица 2.1. Сравнительная оценка CISC-, RISC- и VLIW-архитектур

| Характеристика               | CISC   | RISC                                      | VLIW                                      |
|------------------------------|--|---|---|
| Длина команды                | Варьируется  | Единая                                    | Единая                                    |
| Расположение полей и команде | Варьируется  | Неизменное                                | Неизменное                                |
| Количество регистров         | Несколько (часто специализированных)               | Много регистров общего назначения         | Много регистров общего назначения         |
| Доступ к памяти              | Может выполняться как часть команд различных типов | Выполняется только специальными командами | Выполняется только специальными командами |