

## 1.4 ПУТЬ РАЗВИТИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Здесь мы обратим внимание на отечественные электронные средства обработки информации. Путь развития электронных вычислительных средств в СССР был весьма тернист, и он сопровождался невосприятием кибернетики в 50-х годах и работ по параллельным вычислениям и по параллельным системам обработки информации в 60-х годах 20 столетия. Тем не менее были в Советском Союзе и крупные достижения: были построены ЭВМ и вычислительные комплексы, не уступавшие зарубежным аналогам, были созданы научные школы и вычислительная индустрия.

### 1.4.1. Малая электронная счетная машина

Первая ЭВМ в СССР и в континентальной Европе [5–7] – малая электронная счетная машина (МЭСМ) была сконструирована в Лаборатории моделирования и вычислительной техники Института электротехники Академии наук УССР (г. Киев). Работы по созданию МЭСМ были выполнены в 1948-1951 гг. и проводились под руководством основоположника отечественной электронной вычислительной техники С.А. Лебедева (1902–74; академик АН СССР, 1953; академик АН УССР, 1945). Быстродействие МЭСМ – 50 опер./с; ёмкость оперативной памяти – 94 слова (63 – для команд и 31 – для чисел, двоичных 17-разрядных); количество электронных ламп – 6000; потребляемая мощность – 25 кВт, занимаемая площадь – 60 м<sup>2</sup>.

Основные архитектурные принципы построения ЭВМ были разработаны С.А. Лебедевым (независимо от работ Дж. Фон Неймана) в 1947 г. (см. [6], стр. 264):

“– в состав ЭВМ должны входить арифметическое устройство, память, устройство управления и устройство ввода-вывода;

- программа в машинных кодах должна храниться в той же памяти, что и числа;
- для представления чисел и команд должна применяться двоичная система счисления;
- вычисления должны выполняться автоматически в соответствии с программой, хранящейся в памяти;
- логические операции должны выполняться наряду с арифметическими операциями;
- память машины должна быть организована по иерархическому принципу”.

Функциональная структура МЭСМ стала прототипом для последующих отечественных универсальных ЭВМ. В состав МЭСМ входили устройство управления (УУ), арифметическое устройство (АУ), запоминающее устройство (ЗУ), входное устройство и выводное устройство (для печати результатов). Остановимся на особенностях архитектуры МЭСМ.

МЭСМ была универсальной трехадресной синхронной ЭВМ. Машина имела всего 13 команд, которые позволяли реализовать, в частности, следующие арифметические и логические операции:

- сложение, вычитание, умножение и деление;
- сдвиг числа на заданное количество разрядов;
- сравнения двух чисел с учетом их знаков или по их абсолютной величине;
- сложение команд;
- передачу управления (из блока центрального управления в местное и обратно);
- останов машины.

Команды и числа представлялись словами из 17 двоичных разрядов. Форма представления чисел – с фиксированной запятой, один из 17 разрядов использовался для знака.

Команды условных переходов, изменение масштабов чисел, контроль исправности устройств в МЭСМ реализовывались программно. При переполнении разрядной сетки осуществлялся автоматический останов машины. Преобразование двоичных кодов в десятичные было реализовано схемно.

Устройство управления МЭСМ было представлено совокупностью блоков, среди которых, в частности:

- блок центрального управления (ЦУ), осуществлявший управление всеми операциями в машине и инициирование, и завершение работы необходимых схем;
- блок управления командами, служивший для рассылки управляющих импульсов;
- блок управления операциями, определявший последовательность выполнения элементарных действий в арифметическом устройстве в соответствии с работой ЦУ;
- блок местного управления командами, обеспечивавший, в частности, работу магнитного запоминающего устройства.

Арифметическое устройство предназначалось для выполнения всех элементарных арифметических и логических операций. Оно включало накапливающий сумматор и два регистра на триггерах. В сумматоре была реализована цепочка сквозных переносов.

Запоминающее устройство включало оперативное ЗУ и внешнее ЗУ. Оперативная память состояла из электронных запоминающих устройств для чисел (ЭЗЧ) и для команд (ЭЗК). Емкость ЭЗЧ была рассчитана на 31 число, а ЭЗК – на 63 команды. Оперативная память была построена из ламповых триггеров и содержала 2500 триодов и 1500 диодов. Кроме того, имелось долговременное штекерное запоминающее устройство, которое позволяло вводить и хранить 31 число и 63 команды.

Внешнее ЗУ – это магнитный барабан емкостью 5 тыс. слов. Была предусмотрена возможность подключения ЗУ на магнитной ленте (трехдорожечного магнитофона), которое могло использоваться для хранения и ввода подпрограмм.

Тактовая частота МЭСМ – 5 кГц. Полное время одного цикла, включавшего выборку двух чисел из оперативного ЗУ, производство операции над ними, передачу результатов в память и прием следующей команды, составляло 17,6 мс для всех операций, кроме деления, которое занимало от 17,6 мс до 20,8 мс.

***“Основные параметры малой электронной счетной машины:***

1. Система счета – двоичная с фиксированной запятой.
2. Количество разрядов – 16 и один на знак.
3. Вид запоминающего устройства – на триггерных ячейках с возможностью использования магнитного барабана.
4. Ёмкость запоминающего устройства – 31 для чисел и 63 для команд.
5. Ёмкость функционального устройства – 31 для чисел и 63 для команд.
6. Производимые операции: сложение, вычитание, умножение, деление, сдвиг, сравнение с учетом знака, сравнение по абсолютной величине, передача управления, передача чисел с магнитного барабана, сложение команд, останов.
7. Система команд – трехадресная.
8. Арифметическое устройство – одно, универсальное, параллельного действия, на триггерных ячейках.
9. Система ввода чисел – последовательная.
10. Скорость работы – около 3000 операций в минуту.
11. Ввод исходных данных – с перфорационных карт или посредством набора кодов на штекерном коммутаторе.
12. Съём результатов – фотографирование или посредством электромеханического печатающего устройства.
13. Контроль – системой программирования.

14. Определение неисправностей – специальные тесты и перевод на ручную или полуавтоматическую работу.
15. Площадь помещения –  $60 \text{ м}^2$ .
16. Количество электронных ламп: триодов около 3500, диодов 2500.
17. Потребляемая мощность – 25 кВт” (см. [6], стр. 76 или [9], стр. 349).

#### ***Основные этапы разработки и пуска МЭСМ [6]:***

Октябрь – ноябрь 1948 г. Разработка общих принципов построения электронной цифровой вычислительной машины.

Январь – март 1949 г. Обсуждение характеристик вычислительной машины и мер сотрудничества при ее создании на научных семинарах с участием представителей Института математики и Института физики АН УССР.

Октябрь – декабрь 1949 г. Создание принципиальной блок-схемы и общей компоновки макета МЭСМ.

6 ноября 1950 г. Первый пробный пуск макета и начало решения на нем простейших практических и тестовых задач.

Ноябрь – декабрь 1950 г. Увеличение количества блоков запоминающих устройств, отработка алгоритмов операций сложения, вычитания, умножения и сравнения, завершение отладки макета.

4 – 5 января 1951 г. Демонстрация действующего макета приемной комиссии в составе Н.Н. Доброхотова, А.Ю. Ишлинского, С.Г. Крейна, С.А. Лебедева, Ф.Д. Овчаренко, И.Т. Швеца. Составление акта об окончании в 1950 г. разработки, изготовления и наладки макета, выработка рекомендаций по дальнейшему его совершенствованию.

10 – 11 мая 1951 г. Демонстрация работы машины в Киеве в присутствии известных ученых СССР Ю.Я. Базилевского, Н.Н. Боголюбова, М.В. Келдыша, К.А. Семендяева, А.Н. Тихонова и др.

Август – сентябрь 1951 г. Переделка блоков запоминания с целью повышения их надежности. Окончание переделки конструкции действующего макета, завершение новой компоновки МЭСМ и её опробование.

25 декабря 1951 г. Пуск в эксплуатацию МЭСМ в новой компоновке.

Машина МЭСМ явилась предвестницей ряда (семейства) быстродействующих ЭВМ, известных как БЭСМ. В процессе создания МЭСМ разрабатывались, монтировались и опробовались быстродействующие устройства и узлы для БЭСМ.

#### ***1.4.2. Быстродействующие электронные счетные машины БЭСМ-1 и БЭСМ-2***

Главным конструктором машин БЭСМ-1 и БЭСМ-2 был академик АН УССР Герой Социалистического труда С.А. Лебедев.

##### **Машина БЭСМ АН СССР (БЭСМ-1)**

Электронная вычислительная машина общего назначения БЭСМ АН СССР (или БЭСМ-1), разработанная в Институте точной механики и вычислительной техники (ИТМиВТ) АН СССР (г. Москва), была самой быстродействующей машиной в Европе [6,7]. Машина с оперативной памятью на ртутных линиях задержки (емкостью 1024 39-разрядных слова) была принята Государственной комиссией в апреле 1953 г.; с памятью на потенциалоскопах (запоминающих электроннолучевых приборах, 1024 слова) – в начале 1955 г.; а с памятью на ферритовых сердечниках (2047 слов) – в 1957 г. Быстродействие БЭСМ-1 – 10 тыс. операций в секунду; среднее время полезной работы составляло 72% общего времени функционирования ЭВМ; количество электронных ламп – 5000; потребляемая мощность ЭВМ (без системы охлаждения) – 30 кВт; занимаемая площадь –  $100 \text{ м}^2$ .

##### ***Архитектурные особенности машины БЭСМ-1***

Система команд – трехадресная. Число разрядов для кодов команд – 39. Код операции – 6 разрядов; коды адресов – 3 адреса по 11 разрядов каждый. В систему операций машины входили: арифметические и логические операции, операции передач

кодов и управления. Операции могли производиться как с нормализованными, так и с ненормализованными числами.

Важной особенностью БЭСМ-1 стала реализация операций над числами с плавающей запятой, обеспечившая большой диапазон используемых чисел (от  $10^{-9}$  до  $10^{10}$ ). На БЭСМ-1 достигалась высокая точность вычислений (около 10 десятичных знаков).

Система представления чисел – двоичная с плавающей запятой, число разрядов для кодов чисел – 39 (цифровая часть числа – 32 разряда; знак числа – 1 разряд; порядок числа – 5 разрядов; знак порядка – 1).

БЭСМ-1 была машиной параллельного действия: операции выполнялись одновременно над всеми двоичными разрядами чисел. Зарубежные ЭВМ того времени реализовывали последовательную или параллельно-последовательную системы обработки информации.

Машина БЭСМ-1 имела, кроме оперативной памяти, долговременное запоминающее устройство (ДЗУ) на полупроводниковых диодах (емкостью до 1024 чисел). В ДЗУ постоянно хранились некоторые наиболее часто встречающиеся константы и подпрограммы. Содержимое ДЗУ не изменялось во время работы машины. Кроме того, ЭВМ имела внешний накопитель на магнитных лентах (НМЛ) – четыре блока по 30 тысяч чисел в каждом, а также промежуточный накопитель на магнитном барабане (НМБ) емкостью 5120 чисел (со скоростью выборки до 800 чисел в секунду).

Ввод информации в машину производился со считывающегося устройства на перфоленте (1200 чисел в минуту), а вывод результатов – на электромеханическое печатающее устройство (1200 чисел в минуту) и фотопечатающее устройство (200 чисел в секунду).

*Конструкция.* ЭВМ БЭСМ-1 была собрана в одной основной стойке. Кроме неё имелась стойка ДЗУ и шкаф питания. Был также пульт управления, служивший для пуска и останова машины, отладки программ, а также для контроля за ее работой.

*Элементно-конструкторская база* включала двух- и четырехламповые блоки (ячейки), в которых были смонтированы триггеры, вентили, усилители и другие схемы, и соединительные платы без активных элементов. Один триггер (вместе с входами на диодах) занимал один четырехламповый блок. Вентили и усилители были двухламповыми. Усилители и некоторые вентили были выполнены на пентодах. БЭСМ-1 имела около 5 тыс. электронных ламп.

*Программное обеспечение.* Системное обеспечение в ЭВМ отсутствовало. Для машины БЭСМ-1 были разработаны система контрольных тестов, позволявшая быстро находить неисправности в машине, а также система профилактических испытаний для обнаружения мест возможных неисправностей.

### **Машина БЭСМ-2**

Электронная машина БЭСМ-2 являлась серийным промышленным аналогом уникальной БЭСМ-1. ЭВМ разработана и внедрена в народное хозяйство коллективами ИТМиВТ АН СССР и завода им. Володарского (г. Ульяновск). Год завершения разработки – 1957, год начала выпуска – 1958, год окончания производства – 1962.

Основные технические характеристики БЭСМ-2 аналогичны характеристикам БЭСМ-1.

Системы команд машин отличалась друг от друга тем, что в БЭСМ-2 были исключены редко использовавшиеся команды (например, передача модуля числа) и добавлены некоторые новые команды.

#### *Принципиальные особенности БЭСМ-2*

– Оперативное запоминающее устройство было реализовано на ферритовых сердечниках. Емкость ОЗУ – 2048 39-разрядных чисел; время выборки – 10 мкс.

– Внешние запоминающие устройства – на магнитных барабанах и сменных магнитных лентах. Емкость запоминающего устройства на одном барабане – не менее 5120 слов; скорость считывания или записи – 880 слов в секунду. Частота импульсов для магнитного барабана – около 35 кГц; максимальное время ожидания первого числа – 80 мкс, среднее – 40 мкс.

– Количество устройств на магнитной ленте – четыре. Запись на ленту производилась группами. Максимальное число слов в одной группе – 2047. Емкость каждой ленты – не менее 40 000 слов. Скорость считывания или записи для лент – 400 слов в секунду. Частота следования импульсов с магнитной ленты – около 16 кГц.

– Массовое применение полупроводниковых диодов. Количество полупроводниковых диодов – 5 тыс., электронных ламп – 4 тыс. Количество ферритовых сердечников – 200 тыс.

– Усовершенствованная (мелкоблочная) конструкция, значительно повысившая надежность и удобство эксплуатации. Применены разъёмы с плавающими контактами.

Серийные машины БЭСМ-2 нашли широкое применение в вычислительных центрах и научно-исследовательских организациях как в СССР, так и за рубежом (КНР).

Были решены сотни тысяч задач чисто теоретических, прикладной математики, инженерных и пр. В частности, на БЭСМ-2 рассчитывались траектории полета космических аппаратов.

#### ***1.4.3. Электронные вычислительные машины М-20 и БЭСМ-4***

Архитектуры машин М-20 и БЭСМ-4 предельно близки. Машины были созданы одним и тем же коллективом основных разработчиков. Главными конструкторами ЭВМ М-20 и БЭСМ-4 были академик С.А. Лебедев и к.т.н. О.П. Васильев.

##### **ЭВМ М-20**

ЭВМ М-20 создана в ИТМиВТ АН СССР; введена в действие в 1958 г.; выпускалась серийно.

*Технические характеристики:* быстродействие – 20 тыс. опер./с., оперативная память на ферритовых сердечниках емкостью 4096 слов, представление чисел – с плавающей запятой, разрядность – 45, система элементов – ламповые и полупроводниковые схемы, внешняя память – накопители на магнитных барабанах (НМБ) и лентах (НМЛ).

*Принципиальные особенности ЭВМ:*

- впервые в отечественной практике применена автоматическая модификация адреса;
- совмещение работы арифметического устройства (АУ) и выборки команд из памяти;
- введение буферной памяти для массивов, выдаваемых на печать; совмещение печати со счетом;
- использование НМЛ с быстрым пуском и остановом;
- для М-20 разработана одна из первых систем программного обеспечения ИС-2 (Институт прикладной математики АН СССР).

##### **Машина БЭСМ-4**

ЭВМ была введена в строй в 1962 г. Внедрение ее в народное хозяйство было осуществлено специальным конструкторским бюро ИТМиВТ АН СССР и заводом им. Володарского (г. Ульяновск).

БЭСМ-4 являлась фактически модернизированным вариантом ЭВМ М-20. В БЭСМ-4 были использованы полупроводниковые элементы и расширенная система команд.

*Технические характеристики:* быстродействие – 20 тыс. опер./с., оперативное запоминающее устройство на ферритовых сердечниках емкостью 16 384 слова, представление чисел – с плавающей запятой, разрядность – 45, система элементов – полупроводниковые схемы, внешняя память – НМБ.

*Принципиальные особенности ЭВМ:*

- использование полупроводниковых элементов;
- программная совместимость с ЭВМ М-20;
- возможность подключения второго ОЗУ на ферритовых сердечниках емкостью 16 384 48-разрядных числа;
- работа с удаленными объектами по каналам связи (четыре входа с телефонных и 32 входа с телеграфных линий связи со скоростями передачи информации – 1200 и 50 бит./с, соответственно).

#### ***1.4.4. Электронные вычислительные машины М-40, М-50 и 5Э92***

Семейство ЭВМ: М-40, М-50, 5Э92 разработано под руководством главного конструктора академика С.А. Лебедева и заместителя главного конструктора В.С. Бурцева (1927; академик Российской академии наук, 1992).

##### **ЭВМ М-40**

Машина М-40 предназначалась для оснащения вычислительных комплексов системы противоракетной обороны (ПРО) Советского Союза.

ЭВМ М-40 начала выполнять сложные боевые задачи в 1957 г. В машине нашли аппаратное воплощение принципы распараллеливания вычислительного процесса. Все основные устройства ЭВМ (АУ, ОЗУ, внешние устройства) имели автономные системы управления и, следовательно, могли работать параллельно.

*Технические характеристики:* быстродействие – 40 тыс. опер./с., ОЗУ на ферритовых сердечниках емкостью 4096 40-разрядных слов, цикл – 6 мкс, представление чисел с плавающей запятой, разрядность – 36, система элементов – ламповая и феррит-транзисторная, внешняя память – НМБ емкостью 6 тыс. слов.

Машина работала в комплексе с аппаратурой процессора обмена информацией с абонентами системы ПРО и аппаратурой счета и хранения времени.

*Принципиальные особенности ЭВМ:*

- плавающий цикл управления операциями, позволявший совместить во времени работу арифметического устройства, ОЗУ и процессора ввода-вывода;
- асинхронная работа с 8 дуплексными радиорелейными линиями связи с общей пропускной способностью 1 млн.бит/с (без снижения производительности ЭВМ);
- система прерываний;
- впервые использовано совмещение выполнения операций с обменом;
- мультимплексный канал обмена;
- работа в замкнутом контуре управления (в качестве управляющего звена);
- работа с удаленными объектами по радиорелейным дуплексным линиям связи;
- впервые введена аппаратура счета и хранения времени.

*Область применения:* комплексы управления радиолокационными станциями дальнего обнаружения и сопровождения цели и точного наведения противоракеты на баллистическую ракету противника. В марте 1961 г. под управлением комплекса системой

ПРО впервые в мире была ликвидирована боевая часть баллистической ракеты осколочным зарядом противоракеты. За эти работы коллектив ведущих разработчиков комплекса был удостоен Ленинской премии, в том числе академик С.А. Лебедев и В.С. Бурцев.

**ЭВМ М-50** введена в строй в 1959 г. и явилась модификацией ЭВМ М-40, обеспечившей выполнение операций с плавающей запятой. На базе М-40 и М-50 был создан двухмашинный комплекс.

Боевые пуски противоракет сопровождалась записью информации (по всем направлениям ее входа и выхода) на магнитные ленты контрольно-регистрирующей аппаратуры. Это давало возможность в реальном масштабе времени моделировать и анализировать каждый пуск (для чего М-40 и М-50 имели развитую систему прерываний).

**ЭВМ 5Э92** – модификация М-50, рассчитанная на применение в комплексе обработки данных. Особенности ЭВМ: широкое применение феррит-транзисторных элементов в низкочастотных устройствах.

#### ***1.4.5. Электронные вычислительные машины 5Э92б и 5Э51***

Главный конструктор – академик С.А. Лебедев, заместитель главного конструктора – В.С. Бурцев.

##### ***ЭВМ 5Э92б***

Аванпроект ЭВМ был разработан в 1960 г.; год окончания разработки – 1961. Межведомственные испытания системы из восьми машин – 1967 г.

##### ***Архитектурные возможности машины 5Э92б***

ЭВМ состояла из двух процессоров (большого и малого), работавших с общей оперативной памятью. Быстродействие большого процессора – 500 тыс. опер./с., а малого – 37 тыс. опер./с. Представление чисел – с фиксированной запятой, разрядность – 48, емкость оперативной памяти – 32 тыс. слов, основной цикл работы – 2 мкс.

Малый процессор осуществлял управление работой 4-х НМБ (по 16 тыс. слов каждый) и 16 НМЛ. Он также обеспечивал работу ЭВМ с 28 телефонными и 24 телеграфными дуплексными каналами связи.

В этой ЭВМ впервые был реализован принцип многопроцессорности, внедрены новые методы управления внешними запоминающими устройствами, позволившие осуществлять одновременную работу нескольких машин на единую внешнюю память. Предусматривалась возможность объединения ЭВМ в системы. В состав системы могло входить 2, 4 или 8 ЭВМ.

##### ***Элементно-конструкторская база***

ЭВМ была построена полностью на дискретной полупроводниковой элементной базе. Конструкция ЭВМ – ячеечная. Элемент замены – блок, содержащий 30 ячеек.

##### ***Принципиальные особенности ЭВМ:***

- двухпроцессорная архитектура с общим полем оперативной памяти;
- одна из первых полностью полупроводниковых ЭВМ;
- полный аппаратный контроль;
- возможность создания многомашинных систем с общим полем внешних запоминающих устройств;
- возможность автоматического скользящего резервирования машин в системе;
- развитая система прерываний с аппаратным и программным приоритетами;
- работа с удаленными объектами по дуплексным и телеграфным линиям.

##### ***Программное обеспечение:***

- специальное обеспечение реального времени;

- развитая система контрольных и диагностических тестов, использовавшая аппаратный контроль и позволившая определять неисправные блоки.

Машина 5Э926 применялась в вычислительных и управляющих информационных комплексах системы ПРО, комплексах управления космическими объектами, центрах контроля космического пространства и др.

**ЭВМ 5Э51** – модификация 5Э926.

Серийный выпуск и работа в системе ПРО – с 1965 г.

*Отличительные особенности:*

- представление чисел с плавающей запятой;
- виртуальная память;
- многозадачный режим работы с аппаратной поддержкой защиты по оперативной памяти и каналам обмена с внешней памятью.

#### ***1.4.6. Электронная вычислительная машина БЭСМ-6***

Главный конструктор – академик С.А. Лебедев; заместители главного конструктора: В.А. Мельников (1928–1993, академик РАН, 1981), Л.Н. Королев (1926; член-корреспондент РАН, 1981), Л.А. Теплицкий.

Машина БЭСМ-6 была самой широко распространенной моделью семейства БЭСМ, разработанного в ИТМиВТ АН СССР. Данная машина внедрялась в народное хозяйство страны ИТМиВТ АН СССР и Московским заводом САМ.

Разработка машины БЭСМ-6 была закончена в конце 1966 г., ввод в эксплуатацию осуществлен в 1967 г.

*Технические характеристики БЭСМ-6*

ЭВМ обладала быстродействием около 1 млн. одноадресных операций в секунду. Длина слова – 50 разрядов (из которых 2 контрольных); система счисления – двоичная; форма представления чисел – с плавающей запятой; среднее время выполнения операций: сложения – 1,2 мкс, умножения – 2,1 мкс, деления – 5,4 мкс, поразрядных логических – 0,55 мкс; система команд – одноадресная; длина команды – 24 разряда (2 команды в слове); количество команд – 76.

*Особенности функциональной структуры БЭСМ-6*

Центральный процессор БЭСМ-6 составляли устройства управления и арифметико-логическое, а также буферная память из 16 50-разрядных регистров (с циклом обращения 0,33 мкс).

Оперативная память была реализована на магнитных сердечниках, состояла из блоков (“магнитных кубов”) и обладала емкостью 32–128 К 50-разрядных слов (К=1024). Архитектура ЭВМ допускала варьирование числа блоков памяти в диапазоне от 8 до 32. Время выборки слова из памяти составляло 0,8 мкс.

Внешняя память формировалась из накопителей на магнитных барабанах и на магнитных лентах. Предусматривалось подключение к ЭВМ до 16 магнитных барабанов (каждый из которых обладал емкостью 32 К слов) и до 16 накопителей на лентах, имеющих по два лентопротяжных механизма (с емкостью бабины 1 млн. слов). С 1972 г. в комплектацию серийных ЭВМ включались диски, а с 1978 г. – внешние устройства ЭВМ 3-го поколения (семейства ЕС ЭВМ).

Электронная часть машины (устройство управления, арифметико-логическое устройство, устройство управления и коммутаторы для внешних устройств) были выполнены на полупроводниках (основная тактовая частота – 10 МГц).

*Архитектурные достоинства БЭСМ-6*

- Локальный параллелизм (на основе асинхронной конвейерной структуры).
- Совмещение выполнения операций обращения к оперативной памяти с работой устройства управления и арифметико-логического устройства.



- Совмещенный со счетом параллельный обмен массивами данных по шести каналам с магнитными дисками, барабанами и лентами.
- Использование виртуальной памяти (первое в отечественных ЭВМ).
- Возможность организации магазинного (стекового) способа обращения к памяти.
- Наличие “сверхбыстродействующего” ассоциативного буферного запоминающего устройства.
- Широкие возможности переадресации, включая косвенную адресацию.
- Реализация режимов мультипрограммирования и деления времени.

Последняя архитектурная особенность машины БЭСМ-6 поддержана аппаратно, именно: схемами прерывания ЭВМ и защиты ее памяти, средствами преобразования математических адресов в физические оперативной памяти.

#### *Программное обеспечение БЭСМ-6*

Машина БЭСМ-6 имела развитое программное обеспечение, в состав которого входили: операционная система (для управления мультипрограммным режимом обработки информации) и системы программирования, рассчитанная на символический машинно-ориентированный язык и на языки высокого уровня: ФОРТРАН и АЛГОЛ (для вычислительных задач) и ЛИСП (для обработки списков). Кроме того, для ЭВМ БЭСМ-6 были разработаны библиотека программ, средства отладки программ и тест-программы.

Машина БЭСМ-6 выпускалась серийно вплоть до 1983 года и была, пожалуй, самой популярной машиной исследователей и математиков-вычислителей Советского Союза.

### ***1.4.7. Другие направления отечественной вычислительной техники***

Выпускались другие оригинальные советские машины, например, “Стрела” (1953 г.), а также и семейства ЭВМ “Минск”, “Урал”, “Мир” и др.

В 70-х годах в Советском Союзе стали производиться ЭВМ 3-го поколения. Уместно отметить, что эти машины основывались на архитектурах известных западных семейств ЭВМ. Так, например, прототипом семейств ЕС ЭВМ (единой системы электронных вычислительных машин) и АСВТ-Д (агрегатных средств вычислительной техники на дискретных компонентах) послужило семейство IBM 360 (а для последующих моделей ЕС ЭВМ – семейство IBM 370). Для семейств АСВТ-М и СМ-ЭВМ (системы малых ЭВМ) были взяты архитектуры семейств машин фирм HP и DEC (Hewlett-Packard и Digital Equipment Corporation). Ориентация на “переповторение” западных архитектур привела примерно к 10–15-летнему отставанию отечественной вычислительной техники по сравнению с американской.

В 1962–1965 гг. в Сибирском отделении РАН были разработаны концептуальные основы построения вычислительных средств, основанных на новых принципах обработки информации (или, как сейчас говорят, с не фон-неймановской архитектурой). Эти средства стали называть вычислительными системами (ВС) или параллельными ВС. Публикация 1962 г. об американском проекте системы SOLOMON появилась примерно через 6 месяцев после первой отечественной печатной работе по параллельным ВС. Первая параллельная ВС (причем с программируемой структурой) – это система “Минск-222” [2]. Она была разработана и построена Институтом математики Сибирского отделения АН СССР (г.Новосибирск) совместно с Конструкторским бюро завода им. Г.К. Орджоникидзе (г.Минск) в 1965–1966 гг. Американская система ILLIAC-IV была построена в 1972 г., т.е. через 6 лет после ввода в эксплуатацию ВС “Минск-222”. Работы по созданию ВС ILLIAC-IV были начаты в 1966 г. в Иллинойском университете, они потребовали больших материальных затрат (не менее 40 млн. долл.) Реализованная единственная конфигурация ILLIAC-IV многие годы оставалась самой мощной ВС ( $2 \cdot 10^8$

опер./с) – это факт, однако она по архитектурным свойствам и функциональной гибкости уступала конфигурациям системы “Минск-222” – и это тоже факт.

В России есть несколько первоклассных научных школ и промышленных организаций, способных создать оригинальные высокопроизводительные ( $10^{12} - 10^{15}$  опер./с) средства для индустрии обработки информации текущего столетия.