

1.1. ЭВОЛЮЦИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Развитие человека и общества неразрывно связано с прогрессом в технике вообще и техники для вычислений, в частности. Имела и имеет место тенденция к постоянному усилению физических и вычислительных возможностей человека путем создания орудий, машин и систем машин. Установился своеобразный *дуализм в развитии техники*, который иллюстрируется двумя эволюционными “рядами”:

– *физический ряд*: рычаг и простейшие механические орудия → машины (подъемные краны и экскаваторы) → конвейеры (системы машин);

– *вычислительный ряд*: простейшие счетные орудия (или приборы, или инструменты) → механические и электромеханические вычислительные машины → ЭВМ → параллельные вычислительные системы и сети ЭВМ (системы ЭВМ).

В последние десятилетия появилось и развивается физико-вычислительное направление в технике, как композиция физического и вычислительного рядов:

станки с числовым программным управлением → роботы → гибкие автоматизированные производства → заводы автоматы.

В истории вычислительной техники (ВТ) ясно выделяются два периода:

- 1) простейшие механические и электромеханические приборы и машины для вычислений;
- 2) ЭВМ и параллельные вычислительные системы.

Первый период – это *предыстория современной вычислительной техники*, он может быть назван также древней историей ВТ. Второй период – это *новая и новейшая история*. Концептуальную основу ЭВМ составляют функциональная структура и принципы работы, предложенные в 1945 году Дж. фон Нейманом. Первые ЭВМ были последовательными, машины второго и третьего поколений допускали совмещения во времени выполнения нескольких операций. Вычислительные системы базируются, в частности, на принципе параллелизма при обработке информации. И ЭВМ, и ВС постоянно совершенствуются. Современные ЭВМ основываются на архитектурных решениях, существенно отличающихся от машины Дж. фон Неймана, и превосходят по своим возможностям высокопроизводительные конвейерные ВС 70-х и 80-х годов. Развитие ВС идет в направлении массового параллелизма и программируемости структуры.

Итак, для современного этапа развития ВТ характерен дуализм: ЭВМ и параллельная ВС. Параллельные ВС являются предметом особого рассмотрения в данной книге.

1.1.1. Простейшие вычислительные инструменты

Абак (греч. **αβαξ**, abakion, лат. **abacus** – доска) – счетная доска для арифметических расчетов открывает (754/753 г. до н.э.) первый период вычислительной техники. В качестве “носителя информации” использовались счетные марки (камешки, кусочки кости, монеты), распределенные по полосам доски. Счет осуществлялся передвижением марок в полосах. Абак применялся в Древней Греции и Риме, а затем в Западной Европе до 18 века. Аналоги абака – китайский суан-пан и *счета* были распространены в странах Дальнего Востока и в России, соответственно.

Логарифмическая (счетная) линейка была изобретена в 17 веке. В ее основе лежит учение о логарифмах, созданное шотландским математиком Д. Непером (Д. Нейпир, L. Napier; 1550-1617) не позднее 1594 г. В данном счетном инструменте операции над числами заменяются действиями над логарифмами этих чисел; в качестве “носителя информации” служит отрезок прямой (отрезки с логарифмическими шкалами нанесены на корпус и передвигающийся в нем движок). Принцип работы логарифмической линейки очевиден:

$$\lg A \cdot B = \lg A + \lg B.$$

При помощи линейки реализуются следующие операции: умножение, деление, извлечение квадратного корня, возведение в степень и тригонометрические функции. Логарифмическая линейка на протяжении трех столетий была основным счетным инструментом инженеров и исследователей.

Итак, абак и логарифмическая линейка – это первые простейшие счетные *инструменты* соответственно *дискретного и непрерывного действия*. Дуализм имел место на протяжении всей истории вычислительной техники, однако дискретные (цифровые) средства обработки информации всегда занимали доминирующее положение (в сравнении с непрерывными или аналоговыми). Наше внимание будет обращено только к цифровым вычислительным машинам (ВМ), непосредственно ниже – к простейшим механическим машинам для арифметических расчетов.

1.1.2. Арифмометры

Вычислительный инструментарий постоянно совершенствовался; отметим лишь некоторые из разработок счетных машин. Описание первой цифровой механической счетной машины было сделано итальянским живописцем, скульптором, архитектором, ученым и инженером Леонардо да Винчи (Leonardo da Vinci, 1452-1519). Суммирующая машина (с переносом десятков) была изобретена в 1641 г. французским математиком, физиком, философом и писателем Б. Паскалем (Pascal, 1623-62). Счетная машина, рассчитанная на четыре арифметических действия, была разработана в 1673 г. немецким математиком, физиком, философом и языковедом Г.В. Лейбницем (Leibniz, 1646-1716). Данные машины практического применения не нашли (хотя, например, Б. Паскалем было изготовлено несколько машин). Механические машины Б. Паскаля и Г.В. Лейбница – это первые арифмометры.

Арифмометр (от греч. **arithmos** – число и метр) – настольная механическая счетная машина с ручным управлением для выполнения четырех арифметических действий.

Первый практический арифмометр был создан в 1790 г. немецким часовым мастером Ганом. Широкое распространение имел арифмометр, сконструированный в 1874 г. петербургским механиком В.Т. Однером. Производство таких арифмометров было налажено и в России (1890 г.), и за рубежом. Арифмометр В.Т. Однера послужил прототипом последующих моделей (в частности, для модели “Феликс”, выпускавшейся в СССР до 60-х годов прошлого столетия).

Арифмометр – это система счетных колес. Счетные колеса использовались не только в качестве носителя информации, но и для её преобразования. По окружности счетного колеса были нанесены однозначные числа от 0 до 9. При представлении многозначного числа для каждого разряда использовалось свое колесо. Система счетных колес имела устройство для передачи десятков, т.е. устройство, благодаря которому полный оборот колеса одного разряда влек за собой поворот на “единичный” угол (36°) колеса следующего старшего разряда. Такую систему колес называли *счетчиком*. Счетчик являлся одним из основных механизмов арифмометра. В состав арифмометра входили также: регистры – узлы памяти для хранения многоразрядных чисел, механизм для установки чисел (для занесения чисел на регистры), устройство для гашения (сброса) результата и привод (ручной или электрический).

Оригинальная конструкция арифмометра принадлежит русскому математику и механику П.Л. Чебышеву (произносится Чебышёв, 1821-94; академик Петербургской АН с 1856). . В данной конструкции была достигнута максимальная механизация выполнения всех арифметических действий. Арифмометр П.Л. Чебышева состоял из двух основных

частей: суммирующей машины (сконструированной в 1878 г.) и приставки для умножения (созданной в 1883 г.). В частности, в данном арифмометре после установки множимого и множителя подлежало только вращать рукоятку привода. Конструкция П.Л. Чебышева была использована позднее в английских и американских арифмометрах.

Следует подчеркнуть, что любой арифмометр обеспечивал не автоматизацию, а лишь механизацию вычислений, благодаря таким средствам как счетчик и регистры. Ввод данных, реализация алгоритма вычислений (как последовательности операций) и, как правило, даже одной арифметической операции, съём (вывод) результатов осуществлялись человеком (вычислителем).

Эволюционное развитие арифмометров привело к созданию клавишных вычислительных машин, а со сменой механической элементной базы на электронную – к производству электронных калькуляторов.

Счетно-аналитические машины появились в конце 19 и начале 20 веков. Были ВМ для выполнения бухгалтерских и финансово-банковских операций, статистические ВМ, машины для решения задач вычислительной математики. В таких машинах не только был достигнут максимальный уровень механизации вычислений, но и была заложена возможность автоматизации при вводе чисел и при реализации целых серий операций. Характерным для счетно-аналитических машин было то, что в них перфокарты использовались как для ввода данных, так и для управления работой.

Счетно-аналитические машины – это комплекты, включавшие:

- 1) машины для выполнения арифметических действий над числами, нанесенными на перфокарты:
 - суммирующие машины (табуляторы),
 - множительные машины (умножающие перфораторы или мультиплееры);
- 2) машины (сортировальные и раскладочные или сортировально-раскладочные) для реализации информационно-логических операций: классификации, выборки карт с нужными числами и признаками, расположения карт в определенном порядке, сравнение чисел и т.п.;
- 3) перфораторы, т.е. машины, которые позволяли человеку наносить на карты отверстия (выполнять перфорирование карт);
- 4) вспомогательные машины; например, контрольные аппараты, репродукторы для переноса пробивок с одних карт на другие.

Первая вычислительная машина для решения дифференциальных уравнений была создана в России в 1904 г. кораблестроителем, механиком и математиком А.Н. Крыловым (1863-1945; академик Петербургской АН с 1916) .

1.1.3. Вычислительная машина Ч. Беббеджа

Идея создания универсальной большой вычислительной машины (Great Calculating Engine) принадлежит профессору математики Кембриджского университета (Великобритания), члену Лондонского Королевского Общества Чарльзу Беббеджу (Charles Babbage, 1792-1871; чл.-корр. Петербургской АН с 1832 г). По сути он имел замысел создать *автоматический* механический цифровой компьютер (или, говоря иначе, арифмометр с программным управлением). Проект ВМ был разработан в 1833 г.

Механическая машина Ч. Беббеджа по своей функциональной структуре была достаточно близка к первым электронным ВМ. В изучаемой ВМ предусматривались арифметическое и запоминающие устройства, устройства управления и ввода-вывода информации. Автоматизация вычислений обеспечивалась устройством управления, которое работало в соответствии с программой – последовательностью закодированных действий на перфокартах. В машину Ч. Беббеджа закладывалась возможность изменять ход программы в зависимости от полученного результата (на современном языке – команда условного перехода).

Машина должна была быть построена из нескольких тысяч счетных колес, иметь запоминающее устройство емкостью 1000 50-разрядных чисел и встроенные таблицы логарифмов и других элементарных функций. Она должна была размещаться на площади в несколько квадратных метров.

В 1835 г. была построена простейшая конфигурация ВМ, которая применялась для логарифмирования и решения алгебраических уравнений. Как писали современники, машина отыскивала решения уравнений за минуты (в сравнении с опытным математиком, которому потребовались бы дни).

Итак, в машине Ч. Беббеджа арифметическое и запоминающее устройства должны были быть реализованы на счетных колесах, а для хранения программы предусматривалось использование перфокарт.

Проект Ч. Беббеджа опережал запросы времени, технические и технологические возможности реализации, он был дорогостоящим. Именно поэтому Британский Парламент в 1842 г. прекратил оплату проекта по гранту. Ч. Беббедж продолжал работу над проектом более 30 лет и разработал 239 детальных чертежей.

При жизни Ч. Беббеджа были изданы (в 1842 г.) лишь лекции, описывающие проект ВМ. Полностью проект Ч. Беббеджа был опубликован в 1888 г. его сыном.

Спустя почти 100 лет вернулись к проблеме создания цифровых ВМ с программным управлением, по-видимому, не воспользовавшись работами Ч. Беббеджа.

1.1.4. Вычислительные машины К. Цузе

Первые идеи немецкого инженера Конрада Цузе (Konrad Zuse, 1910–95) по конструированию “механического мозга” относятся к 1935 году, а основополагающие стенографические заметки по двоичному компьютеру – к 1937 году. К. Цузе построено семейство Z механических и электромеханических (релейных) вычислительных машин [3]. Архитектурные возможности моделей семейства почти совпадают.

Модель Z1 была построена в 1938 году; это *первый в мире цифровой механический компьютер с программным управлением* [3]. Архитектурными особенностями Z1 являлись также: двоичная кодировка и система представления чисел с плавающей запятой (или “полулогарифмическая” система, если использовать терминологию К. Цузе). При этом длина числа составляла 21 разряд, из которых 1 разряд отводился под знак числа, 7 разрядов предназначались для порядка и его знака, 13 разрядов – для мантиссы.

Вычислительная машина Z1 – по сути тестовая модель, которая никогда не применялась для практических целей. Эта машина была реконструирована в Берлине самим К.Цузе в 80-х годах, сейчас она экспонируется в Берлинском музее транспорта и технологии.

Модель Z2 была создана в 1940 году, в ней впервые были применены электро-механические реле. В машине Z2 арифметическое устройство и устройство управления были реализованы на реле, а память оставалась механической (от модели Z1).

Такая гибридная конфигурация ВМ была не достаточно надежной и практического применения не нашла.

Модель Z3 – *первая в мире двоичная электромеханическая ВМ с программным управлением*. Работы по созданию машины Z3 были начаты в 1939 г., а ее монтаж был полностью завершен 5 декабря 1941 г.

Рассмотрим архитектурные возможности ВМ Z3. При этом, следуя традиции анализа компьютеров, приведем технические характеристики и функциональную структуру машины Z3.

Машина Z3 предназначалась для выполнения операций сложения, вычитания, умножения, деления, извлечения квадратного корня и вспомогательных функций (в частности, двоично-десятичных преобразований чисел). Для представления чисел

использовалась двоичная система с плавающей запятой. Длина числа – 22 двоичных разряда, из которых 1 разряд – знак числа, 7 разрядов – порядок или экспонента (в дополнительном коде), 14 разрядов – мантисса (в нормализованной форме). Быстродействие ВМ при выполнении сложения – 3 или 4 операции в 1 сек., а время умножения двух чисел составляло 4–5 сек.

Функциональная структура машины Z3 представлена на рис.1.1.

И арифметическое устройство и память были рассчитаны на обработку чисел с плавающей запятой. Устройство управления предназначалось для выработки последовательностей микроинструкций (управляющих сигналов), каждая из которых соответствовала своей команде.

Управление машиной Z3 в целом осуществлялось от перфоленты. Итак, *перфолента была носителем программы вычислений*.

Для ввода и вывода чисел использовались цифровая клавиатура и дисплей на электрических индикаторных лампах.

Для реализации машины в целом потребовалось 2600 реле, причем арифметическое устройство состояло из 600 реле, память – из 1400 реле; остальные реле были применены в устройстве и цепях управления. Машина была смонтирована в трех стойках (высотой 6 футов, шириной 3 фута, 1 фут – около 30,5 см), причем устройства арифметическое и управления размещались в одной стойке, а память – в двух.

Цена релейной машины Z3 составляла 25,00 немецких марок (что в то время соответствовало 6500 долларам США).

Вычислительная машина Z3 использовалась в Пенемюнде (Peenemunde), в германском военно-исследовательском ракетном центре. Здесь в 1942 г. была создана ракета V-2 или “Фау-2” под руководством Вернера фон Брауна (Braun, 1912–77).

Машина Z3 была разрушена в 1944 г. во время бомбардировки Берлина. Двадцать лет спустя ВМ была воссоздана и находится сейчас в Немецком музее в Мюнхене.

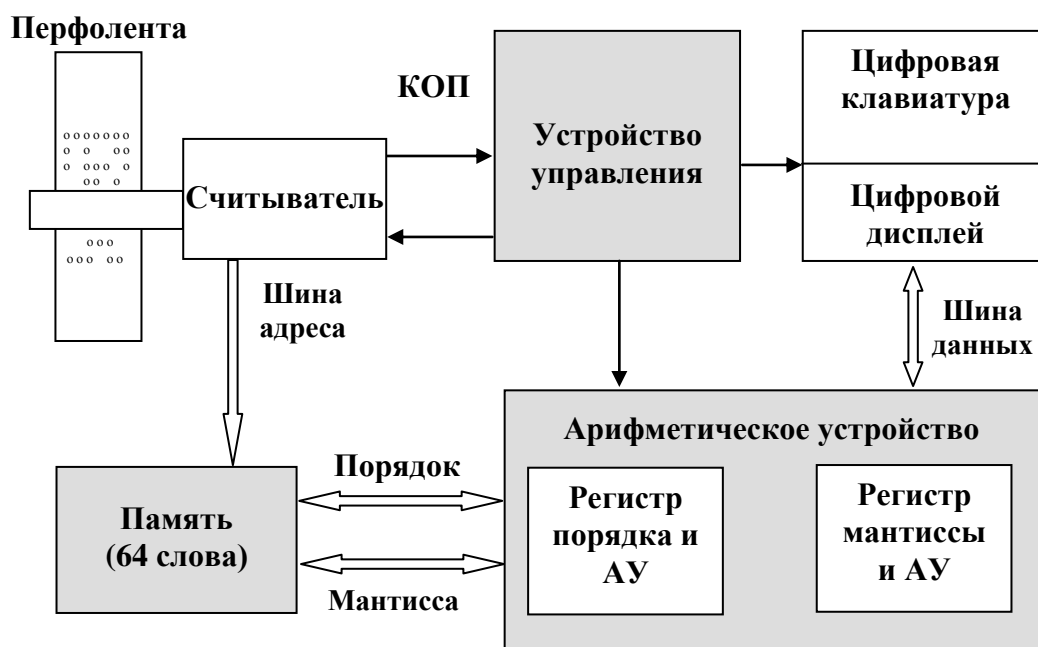


Рис.1.1. Функциональная структура машины Z3

—> — управляющие линии,

КОП – код операции

В 1942 г. было принято решение о создании более мощной ВМ Z4. Она должна была иметь память емкостью 1024 32-разрядных слова. Однако во время войны была создана лишь упрощенная модель такой ВМ. В 1950 г. машина Z4 была восстановлена и смонтирована в Федеральном политехническом институте в Цюрихе (Швейцария); в 1955г. она была перевезена во Французский научно-исследовательский аэродинамический институт (вблизи Базеля), где и эксплуатировалась до 1960 г.

1.1.6. Анализ механических и электромеханических вычислительных машин

Арифмометры и счетно-аналитические машины для выполнения статистических, бухгалтерских и финансово-банковских операций, а также для решения задач вычислительной математики развивались до 50-х годов прошлого столетия. Они полностью исчерпали возможности механики (*механической “элементной” базы*) и показали низкую эффективность ручного управления.

Следующий шаг в совершенствовании вычислительной техники – создание ВМ с программным управлением, использующих в качестве “носителя” программ перфокарты и перфоленты. В конце 30-х годов двадцатого столетия иницируются работы по созданию ВМ на электромагнитных реле, т.е. происходит внедрение *электро-механической элементной базы*.

Первой релейной ВМ была машина Z2 К. Цузе. В ней арифметическое устройство и устройство управления были построены на реле (см. 1.1.4).

Многие годы считалось, что машина “Марк 1” (Н-Марк 1, Harvard Mark 1), созданная в США в 1944 г. является первой в мире релейной ВМ с программным управлением. Работы по созданию машины “Н-Марк 1” выполнялись в Гарвардском университете (Harvard University) под руководством Г. Айкена (Howard Aiken) в период с 1939 г. по 1944 г.

Машина “Марк 1” была десятичной. Арифметическое устройство и устройство управления в ней были выполнены на десятипозиционных электромеханических элементах, при этом реле было основным логическим элементом.

Программа работы ВМ размещалась на перфоленке и вводилась покомандно.

Форма представления чисел в машине “Марк 1” – с фиксированной запятой. Машина обладала достаточно высоким, для своего времени, быстродействием: сложение двух 23-разрядных десятичных чисел производилось за 0,3 с, умножение – за 6 с, деление – за 11 с.

Стремление повысить надежность ВМ привело к построению машины “Марк 2” на шестиконтактных реле улучшенной конструкции. В этой машине было использовано 13 тыс. реле.

Ради исторической справедливости следует подчеркнуть, что первым электромеханическим компьютером с программным управлением является машина К. Цузе Z3 (двоичная, с плавающей запятой), а не ВМ Г. Айкена “Марк 1” (десятичная, с фиксированной запятой).

Машины на реле были ненадежны и не могли удовлетворить требованиям по производительности и емкости памяти. Указанные причины и успехи в электронике инициировали разработку вычислительных машин на лампах. В качестве основного элемента стал использоваться ламповый триггер (переключательный элемент с двумя устойчивыми состояниями). Триггер был создан М.А. Бонч-Бруевичем еще в 1918 г. (Аналогичную электронную схему предложили в США Икклз и Джордан в 1919 г.).

После налаживания производства достаточно надежных элементов в 40-х годах 20-го столетия были созданы первые электронные вычислительные машины (ЭВМ). Разработки ЭВМ выполнялись одновременно и за рубежом (в США, Англии) и в СССР.