

### 1.3 ЭЛЕКТРОННАЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МАШИНА EDVAC

Принято считать, что электронная вычислительная машина (ЭВМ) EDVAC [4] положила начало первому поколению современных средств обработки информации. Работы по конструированию и изготовлению машины EDVAC (аббревиатура от: Electronic Discrete Variable Automatic Computer – электронный автоматический вычислитель для дискретных величин) были выполнены в 1944-1950 гг. в Электротехнической школе Мура Пенсильванского университета США (Moore School of Electrical Engineering of the University of Pennsylvania).

В основу ЭВМ были положены оригинальные принципы работы и решения по функциональной структуре и элементной базе, полученные Д. Мочли, П. Эккертом и Дж. фон Нейманом. “Автоматизация вычислений” была одной из основных парадигм при проектировании машины: EDVAC – это автоматический компьютер (Automatic Computer), т.е. ЭВМ, способная хранить в своей памяти программу вычислений.

Однако машина EDVAC была лишь третьей в ряду электронных ВМ с хранимой программой. В самом деле, в 40-х годах велись работы по созданию автоматических ЭВМ и в Европе. Первой в истории реально работавшей ЭВМ с хранимой программой явилась машина Манчестерского университета (Великобритания) “Mark 1” (M-Mark 1, Manchester Mark 1). Работы по ее созданию выполнялись в 1946-1948 гг. под руководством Ф. Вильямса и Т. Килберна (F.C. Williams and T. Kilburn).

В машине “M-Mark 1” арифметическое устройство и память были построены как отдельные устройства. Причем первое устройство реализовывалось на электронных лампах, а память – на электроннолучевой трубке. Форма представления чисел в “M-Mark 1” – двоичная с фиксированной запятой; способ обработки чисел – последовательный.

Архитектурным достоинством ЭВМ “M-Mark 1” было и то, что в ней реализовывалась операция условного перехода (позволявшая изменять ход вычислительного процесса).

Второй ЭВМ с хранимой программой была машина EDSAC (Electronic Delay Storage Automatic Calculator – электронный автоматический вычислитель на линиях задержки). Она была построена Морисом Уилксом (M.V.Wilkes) в 1949 г. в Кембриджском университете (Великобритания). Память в данной ЭВМ была реализована на 32 ртутных линиях задержки, каждая из которых имела емкость 576 бит. Машина EDSAC имела время такта 2 мкс (тактовую частоту 500 кГц) и быстродействие 100 арифметических операций в секунду. Уместно подчеркнуть, что синтез функциональной структуры машины EDSAC основывался на работах Дж. фон Неймана [4].

Работы по созданию первых ЭВМ в Советском Союзе велись независимо и параллельно с западными разработками. Первая отечественная машина МЭСМ была разработана в период с 1946 г. по 1959 г., по своим архитектурным возможностям она не уступала EDVAC [5–7].

Компьютер EDVAC по существу стал прототипом всех ЭВМ, разработанных в дальнейшем на Западе. Рассмотрим архитектурные возможности и функциональную структуру EDVAC.

#### *1.3.1. Предпосылки создания ЭВМ с хранимой программой*

В результате эксплуатации машины ENIAC стало ясно, что дальнейшее расширение возможностей ЭВМ по решению задач может быть достигнуто за счет автоматизации вычислений, повышения надежности, увеличения емкости памяти, совершенствования элементной базы. Для осуществления автоматизации вычислений ЭВМ должна обладать возможностью хранения программы в оперативной памяти.

Следовательно, переход от механизации к автоматизации вычислений также связан с увеличением емкости оперативной памяти.

С целью создания оперативной памяти большей емкостью (по сравнению с памятью ENIAC) и более дешевой, чем ламповая, П. Эккерт предложил использовать ртутные линии задержки. Опыт применения таких линий задержки уже был в военном радарном оборудовании. Идея П. Эккерта заключалась в том, чтобы создать циклическую (если говорить современным языком, динамическую) память на ртутной линии задержки, путем подключения ее выхода ко входу через ламповые усилитель и формирователь. В такой памяти можно было хранить порядка 1000 бит информатизации, а для ее реализации требовалась всего лишь одна линия задержки и несколько ламп (в то время как в ENIAC требовался ламповый двойной триод на каждый бит информации).

Физическая природа памяти на линиях задержки во многом предопределила архитектуру будущей ЭВМ (EDVAC), именно то, что она должна была быть полностью *синхронной* и *последовательной* и использовать *двоичную систему счисления*. Синхронизация работы всех устройств ЭВМ должна была осуществляться от единого источника импульсов, названного “часами” (сейчас, это генератор тактовых или синхронизирующих импульсов). Д. Мочли и П. Эккерт сконструировали схемы, способные работать с частотой следования импульса 1 мГц (т.е. тактовая частота EDVAC стала на порядок выше, чем в ENIAC).

В разработке машины EDVAC с 1945 года принимал участие Дж. фон Нейман в качестве консультанта. Машина EDVAC была построена в 1950 г. в Электротехнической школе Мура (когда упомянутые выше специалисты уже не работали в ней). Она содержала всего лишь 3000 электронных ламп и при этом превосходила по производительности и емкости памяти ENIAC.

### 1.3.2. Функциональная структура машины EDVAC

Машина EDVAC состояла (рис. 1.3.) из центрального арифметического устройства (АУ), оперативного запоминающего устройства (ОЗУ), внешнего запоминающего устройства (ВЗУ), входного и выходного узлов (УВх, УВых) и центрального управляющего устройства (УУ). В отличие от ENIAC данная ЭВМ была последовательной машиной, она не могла выполнять двух логических или арифметических операций одновременно. В то время это было технико-экономически обосновано.

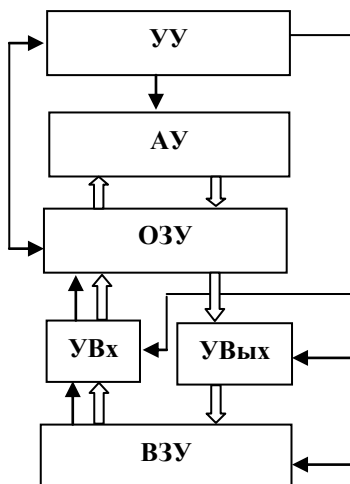


Рис.1.3. Функциональная структура EDVAC

⇔ – данные, → – команды и управляющие сигналы

Арифметическое устройство предназначалось для выполнения операций сложения, вычитания, умножения, деления, извлечения квадратного корня, для преобразования чисел из двоичной системы счисления в десятичную и обратно, для пересылок чисел из одних регистров АУ в другие, а также между ОЗУ и регистрами АУ и для осуществления выбора *одного из двух чисел в зависимости от знака третьего числа*. Последняя операция использовалась для передачи управления (условного перехода) от одной команды программы к другой. Числа в АУ обрабатывались последовательно, начиная с последнего значащего разряда, и в каждый момент времени выполнялось только одна операция. Регистры АУ – это линии задержки на одно 32-разрядное двоичное слово.

Память (ОЗУ) должна была содержать до 256 линий задержки, каждая из которых могла хранить 32 слова, имеющих 32 двоичных разряда, а также переключательную схему, связывающую ячейки памяти с остальной частью машины. Память предназначалась для хранения начальных и граничных условий для дифференциальных уравнений в частных производных, произвольных числовых функций, промежуточных результатов вычислений и т.п., а также *программы* (последовательности команд), управляющей ходом вычислений.

Внешнее ЗУ должно было быть рассчитано на следующие носители информации: перфокарты, бумажные перфоленты, магнитные ленты, проволоку, фото пленку. Предполагалось использовать ВЗУ в качестве дополнительной медленнодействующей памяти, а также для ввода и вывода информации.

Следует подчеркнуть, что память EDVAC (как и в EDSAC), была последовательной, слова считывались из неё и записывались в неё последовательно бит за битом.

Входной узел использовался для пересылки информации из ВЗУ в ОЗУ, выходной узел – из ОЗУ в ВЗУ. В ОЗУ использовалась двоичная система счисления, а в ВЗУ – десятичная.

Центральное устройство управления предназначалось для координации работы остальных устройств ЭВМ, в частности, оно формировало поток команд в АУ. В машине EDVAC первый двоичный разряд каждого слова использовался для идентификации команд и чисел, причем единица соответствовала команде, а ноль – числу. В команде для задания кода операции и адреса операнда в ОЗУ отводилось соответственно 8 и 13 разрядов.

Рассмотрим типичный фрагмент программы обработки числовых данных и работу устройств ЭВМ. Пусть в АУ находится первое слагаемое, а в регистрах или ячейках ОЗУ  $\alpha$ ,  $\alpha + 1$  и  $\alpha + 2$  размещаются соответственно команда, задающая операцию сложения и адрес  $\beta$ , второе слагаемое и команда, которую предстоит выполнить вслед за сложением. Адекватной последовательностью действий ЭВМ будет следующее: пересылка команды из ячейки  $\alpha$  в центральное УУ, передача слагаемого из  $\alpha + 1$  в АУ, выполнение операции сложения в АУ, запись суммы в ячейку  $\beta$  и, наконец, выполнение команды из ячейки  $\alpha + 2$ .

Наряду с командой условного перехода (описанной выше) в машине EDVAC имела команда безусловной передачи управления, именно команда с адресом  $\gamma$ , обеспечивавшая возможность для центрального УУ извлечения следующей команды из ячейки  $\gamma$  ОЗУ. Кроме того, в EDVAC была заложена возможность автоматической модификации адреса в команде. Последнее достигалось следующим образом:

– при пересылке некоторого числа из АУ в ячейку  $\delta$  ОЗУ осуществлялся предварительный просмотр её содержимого;

– если в  $\delta$  была команда (т.е. слово с единичным первым разрядом), то вместо 13 адресных разрядов содержимого этой ячейки записывались 13 первых значащих двоичных разрядов результата.

Не смотря на последовательный характер работы, вычислительная машина EDVAC не уступала по производительности ENIAC. Например, быстродействия EDVAC и ENIAC при выполнении операций умножения оценивались соответственно величинами: 357 опер./с (над 10-разрядными десятичными числами) и 1000 опер./с (над 32-разрядными двоичными числами).

Таким образом, машина *EDVAC* была полностью автоматическим программируемым вычислительным средством.

### **1.3.3. Анализ машины EDVAC**

Машина EDVAC имела жесткую функциональную структуру. По своей архитектуре EDVAC относится к классу SISD (Single Instruction stream / Single Data stream), если следовать классификации М. Флинна [9, 10]. В EDVAC одиночный поток команд обрабатывал одиночный поток данных (рис. 1.3). Три поколения ЭВМ – это по сути эволюционные модификации машины с архитектурой SISD.

Подчеркнем архитектурные особенности машины EDVAC:

- SISD-архитектура, синхронный метод управления устройствами;
- автоматизация вычислений (возможность хранения программы в памяти и ее автоматической модификации);
- последовательный способ обработки информации;
- фиксированность структуры (невозможность даже ручного реконфигурирования, за исключением ВЗУ);
- конструктивная неоднородность.

Архитектурные решения, положенные в основу ЭВМ, привели к простоте ее реализации: потребовалось около 3000 электронных ламп (вместо 18000 в ENIAC). Уровень сложности и достигнутые технические характеристики (показатели производительности, емкости памяти и надежности) ЭВМ вполне отвечали уровню техники и потребностям 50-х годов 20 столетия. В самом деле, машина EDVAC характеризовалась следующими параметрами:

- количество двоичных разрядов для представления чисел – 32,
- тактовая частота – 1 МГц,
- емкость оперативной памяти –  $2^{18}$  бит = 32Кбайт.

Безусловно память на линиях задержки была крупным достижением, позволившим создать технико-экономически эффективную электронную машину EDVAC. Однако, одновременно с разработкой логической схемы этой ЭВМ Дж. фон Нейманом была предложена память на иконоскопе. Иконоскоп – это одна из первых телевизионных передающих трубок с накоплением электрического заряда на мозаичной светочувствительной мишени. Предполагалось хранить информацию на внутренней поверхности электроннолучевой трубки. Вскоре память была создана и началась разработка новой ЭВМ.

Машина с памятью на электроннолучевой трубке должна была намного превосходить по быстродействию все рассматривавшиеся тогда ЭВМ в основном по двум причинам. Во-первых, применение электростатической памяти обеспечивало непосредственный доступ к каждому разряду слова (тогда как в линии задержки разряд или все слово становились доступными лишь после прохождения их до конца этой линии). Во-вторых, было принято решение обрабатывать все разряды слова параллельно.

Задуманная вычислительная машина была построена в Институте перспективных исследований США группой инженеров, возглавляемой Джулианом Бичелоу и получила широкую известность под названием JONIAС (в честь Дж. фон Неймана). Эта машина

сыграла важную роль при создании в США водородной бомбы. (Водородная бомба впервые была испытана в СССР в 1953 г.).

Таким образом, электронные вычислительные машины *ENIAC* и *EDVAC* отражают дуализм в развитии цифровых средств информатики, говоря иначе, констатируют неизбежность двух начал: параллельных и последовательных архитектур.