

## 1.1. ЭЛЕКТРОННАЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МАШИНА ENIAC

Вычислительная машина на электронной элементной базе ENIAC [4] была сконструирована и построена в Электротехнической школе Мура Пенсильванского университета США (Moore School of Electrical Engineering of the University of Pennsylvania) в 1943–1945 гг. Первая задача была решена на машине ENIAC в декабре 1945 г.; официальное представление ВМ состоялось в феврале 1946 г.

Идея создания машины ENIAC (акроним для: Electronic Numerical Integrator And Computer – электронный цифровой интегратор и вычислитель) принадлежит Джону Мочли. Техническое руководство работами осуществляли Д.У. Мочли и Преспер Экерт.

Вплоть до середины 80-х годов 20 в. считалось, что машина ENIAC является первым в мире большим универсальным электронным компьютером. Однако здесь имела место предыстория.

В 1936-37 гг. английский математик Алан Тьюринг (A. Turing, 1912–54) теоретически доказал возможность создания *универсальной* цифровой вычислительной машины. Именно, он показал, что любой алгоритм, в принципе, может быть реализован на дискретном автомате. А. Тьюринг предложил такой автомат (абстрактный эквивалент алгоритма), получивший затем название “машины Тьюринга”.

В начале 40-х годов прошлого столетия в Англии А. Тьюрингом совместно с Х.А. Ньюменом была сконструирована специализированная электронная вычислительная машина “Колос”. Данная электронная ВМ была пущена в эксплуатацию в 1945 г., однако публикаций по машине долгое время не было, так как она применялась для дешифрации германской секретной информации во время Второй мировой войны.

Первыми ВМ, использующими радиолампы, были машины, построенные в период 1938-42гг. в Государственном колледже Айовы (Iowa State College, США) профессором Джоном Атанасовым (John Atanasoff, болгарин по национальности). Две малые машины Д. Атанасова послужили прототипом большой электронной ЭВМ для решения систем линейных алгебраических уравнений. Позднее эту машину стали называть ABC. Машина ABC должна была войти в строй в 1943 г., но призыв Д. Атанасова в армию не позволил достичь этого. (Заметим, что в 1942 г. машина уже функционировала, но осуществлялась отладка устройств ввода-вывода информации).

Остановимся на архитектурных особенностях машины ABC. Прежде всего, функциональная структура ABC была рассчитана не на универсальные вычисления, а на реализацию операций сложения и вычитания векторов данных. В состав машины входили арифметическое устройство (АУ), запоминающие устройства: оперативное (ОЗУ) и внешние (ВЗУ). Для построения АУ были использованы радиолампы. В качестве ОЗУ служил вращающийся барабан с конденсаторами, а ВЗУ – типовое перфокарточное оборудование.

Машина ABC работала в двоичной системе счисления. Переводы чисел из десятичной системы в двоичную и обратно осуществлялись аппаратно. Форма представления чисел в ABC – с фиксированной запятой.

Программирование машины ABC осуществлялось аппаратно (“hard”, а не “soft”), т.е. путем ручных перекоммутаций. Реализация операций условного перехода не предусматривалась.

Обратимся теперь к машине ENIAC. Отметим предварительно, что в начале 40-х годов 20 в. Д. Атанасов поделился с Д. Мочли информацией о принципах построения машины ABC; впоследствии последний утверждал, что он этой информацией не воспользовался.

### 1.2.1. Архитектурные возможности и состав машины ENIAC

Машина ENIAC кардинально отличалась не только от предшествующих ВМ, но и от машин, созданных после нее. В частности, от последних ВМ ее отличало использование множества полуавтоматических вычислительных устройств, работающих параллельно и полунезависимо, и реализация памяти только на электронных лампах.

Итак, машина ENIAC – это вручную перестраиваемая конфигурация, состоявшая из трех подсистем: управляющей, собственно вычислительной и ввода-вывода (рис.1.2). Управляющая подсистема была представлена композицией из главного программного устройства (ГПУ) и двух дополнительных программных устройств (ДПУ). Вычислительная подсистема формировалась из 20 устройств накопления и суммирования (УНС), устройства умножения (УУМ), устройства деления и извлечения квадратного корня (УДК) и трех устройств хранения таблиц (УХТ). Подсистема ввода-вывода состояла из устройств: ввода (УВв) и вывода (УВыв) информации.

Устройства программного управления формировали последовательности управляющих сигналов на остальные устройства. Каждое УНС могло запоминать и суммировать десятиразрядные десятичные числа, а УХТ обладало памятью, рассчитанной на 104 десятичных числа. В ENIAC была использована форма представления чисел с фиксированной запятой.

В машине параллелизм обеспечивался на макро- и микроуровнях. В самом деле, каждое вычислительное устройство (УНС, УУМ, УДК) имело свое локальное программное оборудование; следовательно, допускалась одновременная (параллельная) работа всех устройств. Кроме того, в каждом устройстве могла осуществляться и параллельная обработка всех 10 десятичных разрядов чисел.

Все схемы для логического управления и для выполнения арифметических операций, а также оперативная память были реализованы на лампах. Машина содержала 18000 электронных ламп. Частота срабатывания электронных цепей – 100 000 импульсов в секунду (тактовая частота – 100 кГц). Среднее время выполнения операций сложения, умножения и деления составляло 200 мкс, 2800 мкс и 6000 мкс, соответственно. Итак, машина ENIAC имела быстродействие на 3 порядка выше чем у “Н-Марк 1” и “Н-Марк 2” (за счет применения электронных элементов вместо релейных).

В машине ENIAC не было отдельного устройства оперативной памяти. Как уже отмечалось, для запоминания информации могло использоваться двадцать УНС, три УХТ, одно УУМ и одно УДК. Следовательно, можно считать, что максимальное количество запоминаемых в ENIAC десятичных чисел было равно 334.

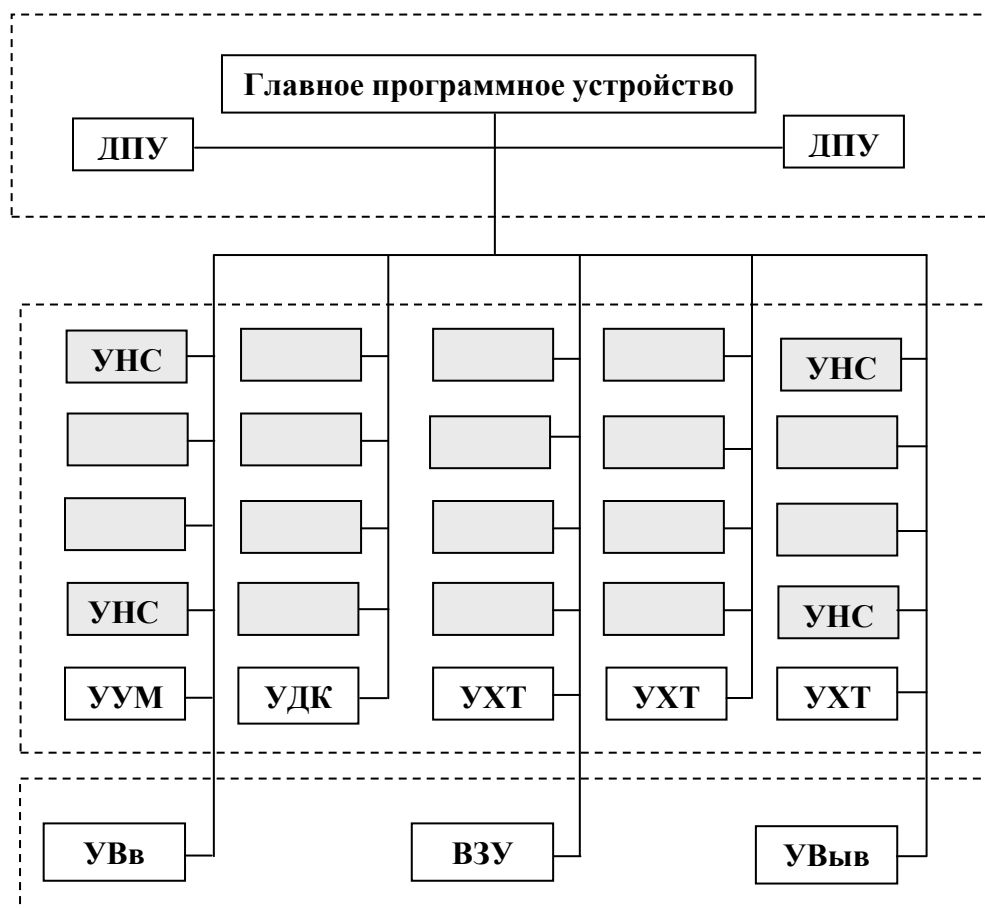


Рис.1.2. Функциональная структура ENIAC

В качестве входных и выходных устройств использовалась распространенная в то время перфорационная аппаратура (для перфокарт и перфолент).

Функциональная структура ENIAC позволяла производить подключение внешних запоминающих устройств. Для формирования ВЗУ могли быть применены элементы различных видов, в частности, электромагнитные реле и управляемые вручную механические переключатели.

Структура машины ENIAC реконфигурируема, алгоритм ее функционирования проблемно не фиксирован (не специализирован). Адаптация структуры и алгоритма функционирования ВМ под конкретную задачу или программирование машины для решения выбранной задачи достигались вручную. При программировании ENIAC производились соответствующие ручные перекоммутации (механическими переключателями) в блоках программных управлений каждого из вычислительных устройств, используемых при решении задачи, устанавливались соединения (при помощи гибких кабелей со штеккерами) между блоками программных управлений, задавались таблицы функций (путем установки механических переключателей). Такая процедура программирования была длительной, трудоемкой, слабоконтролируемой; она была связана с простоем машины.

Разработка машины ENIAC была поддержана артиллерийским департаментом Армии США. Машина предназначалась прежде всего для расчетов по баллистике, в частности, для составления таблиц стрельб. Она обеспечивала рекордную по тому времени скорость вычислений (работала в тысячу раз быстрее вычислительных машин Z3 или "Н-Марк-1").

### **1.2.2. Анализ машины ENIAC**

Машина ENIAC не имела жесткой структуры, более того, она не могла быть названа машиной (в современном понимании). Это был конструкторский набор из 30 основных вычислительных устройств, предоставляемый для программирования (а по сути, конфигурирования) специализированной ВМ.

Программирование любой задачи осуществлялось аппаратурно (“hard”, а не “soft”) и заключалось в ручных перекоммутациях внутри вычислительных устройств и соединений между ними.

Независимо от проблемной ориентации запрограммированной машины ENIAC ее архитектура относилась к типу SIMD, если придерживаться классификации [9,10] М. Флинна (M. J. Flynn), профессора Стенфордского университета (США). В средствах с такой архитектурой один поток команд управляет обработкой многих потоков данных (SIMD: Single Instruction stream / Multiple Data stream). Общее управление в ENIAC производилось главным программным устройством (рис.1.2.).

Отметим архитектурные достоинства машина ENIAC:

- SIMD-архитектура, распределенность и иерархия средств управления, смешанный синхронно-асинхронный способ управления вычислениями;
- параллелизм при обработке данных (допускалась одновременная работа нескольких вычислительных устройств и параллельная обработка десятичных разрядов чисел);
- ручная реконфигурируемость структуры (ручное программирование “неспециализированной” машины под структуру решаемой задачи);
- однородность, модульность и масштабируемость (варьируемость количества устройств).

Итак, машина ENIAC обладала совокупностью архитектурных свойств, которые присущи современным высокопроизводительным параллельным вычислительным системам. Проект ENIAC опережал возможности элементной базы (ламповой электроники).

Если исходить из возможностей элементной базы 40-х годов (а в то время ламповые элементы были самыми надежными и быстродействующими), то можно указать на следующие недостатки ВМ ENIAC:

- ручное (“механическое”) трудоемкое программирование структуры ВМ под решаемую задачу (такое программирование длилось несколько часов или даже дней);
- низкая надежность, обусловленная применением большого числа ламп, электромагнитных реле, механических переключателей и кабелей, а также и ручным программированием структуры машины;
- малая емкость оперативной памяти (334 десятиразрядных десятичных чисел);
- громоздкость и дороговизна машины (18 000 электронных ламп!).

Итак, на пути построения электронных ВМ с архитектурой ENIAC в 40-х годах 20 столетия стояли серьезные барьеры. Однако последнее стимулировало работы по поиску технико-экономически эффективных решений в области функциональных структур вычислительных машин и оперативной памяти.