# Вычислительные машины Bell (1938-45)

Джордж Роберт Штибиц (George Robert Stibitz) — выдающийся американский ученый и физик, который считается одним из творцов современных цифровых компьютеров. Cотрудник "Белловских телефонных лабораторий" (Bell Telephone Laboratories, или сокращенно Bell Labs) — крупного исследовательского центра в области телекоммуникаций, электронных и компьютерных систем. В 30-40 годы Штибиц занимался успешной реализацией положений логики Буля, с использованием в качестве переключателей электромеханические реле. Джордж Штибиц родился в американском городе Йорк (штат Пенсильвания). Он получил степень бакалавра в Университете Денисона (город Гранвилл, штат Огайо); в 1927 году получил степень магистра в Юнион-колледж (город Скенектади, штат Нью-Йорк); в 1930 году — получил ученую степень доктора философии физико-математических наук в Корнелльском университете (город Итака, штат Нью-Йорк). После этого Штибиц попал на работу в компанию Bell Labs, с которой и начался его путь изобретателя. На счету Стибица ряд важнейших разработок тех лет: вычислительная машину «Bell-I» на электромагнитных реле; машина «Bell-2», автоматически управляемая программой (машина «Bell-1» автоматического управления не имела); машина «Bell-3» с управлением с помощью программы, записанной на перфоленты; релейный калькулятор «Bell-4»; машина «Bell-5», работающей с арифметикой с плавающей точкой.

Идея применения электромагнитные реле для создания счетной машины нового образца возникла у Штибица спонтанно, когда он находился у себя дома. Обратив внимание на двоичный характер работы этого прибора, он у себя дома соорудил из куска доски, жестяных обрезков, коробки из-под трубочного табака, двух лампочек от карманного фонаря, двух старых реле и проводов нехитрую схему, которая питалась от батареек и могла складывать две двоичные цифры. Из всего этого набора ему удалось собрать примитивную электросхему, которая даже могла складывать два двоичных числа и демонстрировала результат сложения. Джордж назвал самодельную машину Model K, где k пошло от «kitchen» — кухня (в честь места «рождения» машины). Штибиц был уверен, что на основе реле можно создать устройство, способное осуществлять последовательные вычисления и запоминать их промежуточные и окончательные результаты. В частности, такая машина могла бы умножать и делить комплексные числа, поскольку эти операции занимали много времени у сотрудников его отдела, занятых разработкой усилителей и фильтров.

Начальство компании Bell Labs одобрило проект и началась разработка вычислительного устройства. За период с 1939 года по 1940 год Штибиц, совместно с коллегой инженером Сэмюэлем Б. Уильямсом (Samuel B. Williams), создал устройство, которое умело складывать комплексные числа и выполнять операции вычитания, умножения, деления. Штибиц был архитектором машины, а Уильямс — главным инженером. Изобретение назвали калькулятором комплексных чисел CNC (The Complex Number Calculator), известную также как Model I. Демонстрация устройства проходила в в Дармутском колледже (хотя сам калькулятор находился в Нью-Йорке). Во время презентации CNC впервые был использован удаленный доступ к вычислительным ресурсам. С помощью телетайпа и телефонного кабеля удалось подключить к калькулятору в Дартмутском колледже три терминала, которые находились в Нью-Йорке. По кабелю передавались данные и результаты вычислений. В Model I насчитывалось всего 450 двухполюсных и десять многополюсных реле, которые служили для хранения входных данных и промежуточных результатов. Использовалась арифметика с запятой, фиксированной перед первым значащим разрядом числа. Кодирование («Штибиц-код») десятичной цифры происходило с помощью четырех реле так, что каждая цифра n представлялась двоичным кодом n+3. Оно упрощало выполнение операций переноса и вычитания. Быстродействие Model I составляло примерно одно умножение в минуту. Презентация впечатлила присутствующих на заседании ученых, таких как: Джон фон Нейман, Норберт Винер, Ричард Курант. Участники смогли самостоятельно протестировать машину и поработать за телетайпным пультом. Model I стала началом эры телекоммуникации, когда по телефонным каналам передавались кодированные машинные данные. Model I работала с 1940 года до 1949 год. Она активно использовалась для внутренних нужд компании Bell Labs. На изготовление вычислительного устройства ушло около $20 000.

Model 1 вплоть до 1949 г. использовалась для внутренних нужд компании, где надежно работала по 12–13 часов в день в течение шестидневной недели. Вскоре после ее пуска Стибиц предложил построить более универсальную машину, которая автоматически вычисляла бы полиномы и другие функции. Однако так как проектирование и изготовление даже довольно простой Model 1 обошлось в 20 тыс. долл. (астрономическая сумма, по словам Стибица), его предложение не было принято. Он ушел в Комитет по исследованиям в области национальной обороны (National Defense Research Committee, NDRC), но связей со своей бывшей лабораторией не прерывал. Когда в декабре 1941 г. США вступили в войну, в Bell Labs началась разработка прибора управления артиллерийским зенитным орудием (ПУАЗО) модели M-9. Это было сложное электромеханическое устройство, наводившее артиллерийское орудие на движущуюся воздушную цель. Для проверки точности работы M-9 проводилось моделирование стрельб, что требовало большого объема вычислений, в частности, для интерполяции таблично заданных значений ряда функций. Чтобы ускорить подобные вычисления, Стибиц предложил создать специализированную вычислительную машину, которую назвали "Релейным интерполятором" (Relay Interpolator), или Model II. Кроме того Model I была специализированной вычислительной машиной и не имела устройства для автоматического управления расчетами. Такое устройство появилось в Model II, управляемой с помощью программы, “нанесенной” на перфоленту. Разработанный под техническим руководством Э. Дж. Эндрюса (E. G. Endrews), интерполятор был введен в действие в июне 1943 г. Model II была программно-управляемой машиной со стандартной пятиканальной лентой, которая использовалась в качестве носителя программы. Она содержала около 440 реле, выполняла лишь операции сложения и вычитания. В устройстве находилось несколько программных лент, благодаря чему можно было применять различные методы интерполяции. Интерполятор работал круглосуточно и обладал высокой надежностью, которая обеспечивалась двоично-пятеричной (bi-quinary) системой кодирования десятичных цифр, предложенной Стибицем и его коллегами. Каждый десятичный разряд представлялся двумя цифрами; одна из них являлась цифрой пятеричной системы и принимала значения от 0 до 4, другая – цифрой двоичной системы. Таким образом, для представления любой десятичной цифры требовалось семь реле, хотя в каждый момент времени включались только два. Подобная система кодирования позволяла осуществлять простой аппаратный контроль правильности работы интерполятора на каждом шаге вычислений и правильность пересылки информации; она применялась затем во всех релейных машинах Bell Labs и в ряде вычислительных машин других компаний. Двоично-пятеричная система кодирования – это один из эмпирически найденных способов, повышающих надежность передачи данных путем добавления в них избыточности. Используя работу Стибица и его коллег в качестве отправной точки, выдающийся математик, сотрудник Bell Labs Ричард Хемминг (Richard Hamming, 1915–1998) в начале 50-х годов развил математически строгую теорию обнаружения ошибок и коррекции кодов. В частности, одним из распространенных способов контроля стал так называемый контроль по четности (рarity check): к исходному блоку данных добавлялся один разряд, который делал передаваемый код четным; на приемной же стороне специальные цепи контролировали наличие четности и в противном случае останавливали процесс передачи информации. Хемминг показал также, что если увеличить число добавляемых избыточных разрядов, то можно не только обнаруживать ошибки, но и корректировать их. В мирное время Model II использовалась для решения различных инженерных и научных задач по вычислению интерполяционных значений функций и была демонтирована лишь в 1961 г.

Две следующие машины Bell Labs (Model III и Model IV) были по существу идентичны и также предназначались для систем ПВО. Однако от своей предшественницы они отличались более широкими вычислительными возможностями. Так, Model III, известная как "Баллистическая вычислительная машина" (Ballistic Computer), была установлена в июне 1944 г. в Форт-Блиссе (шт. Техас) и имела емкость памяти в 10 слов, содержала 1400 реле, выполняла операцию умножения за одну секунду (путем обращения к внутренне-хранимой таблице умножения) и заменяла 25–40 человек, вычислявших баллистические таблицы с помощью настольных счетных машин. Эта машина умела считывать с перфоленты таблицы нескольких переменных и не только выполняла интерполяцию, но и решала баллистические уравнения, описывающие путь воздушной цели. Стибиц вспоминал, что когда обнаруживался сбой в ее работе, "…включалось контрольное устройство и над кроватью сержанта Стоддарда дребезжал звонок". Model IV (март 1945-го) помимо этого вычисляла значения тригонометрических функций. Вместе обе машины выполняли работу ста вычислителей с настольными счетными машинками и находились в эксплуатации полтора десятка лет.

Наиболее значительной разработкой Bell Labs стала универсальная релейная вычислительная машина Model V, изготовленная в двух экземплярах уже после окончания войны[4]: один из них в декабре 1946 г. был установлен в Национальном консультационном комитете по аэронавтике (National Advisory Committee on Aeronautics, NACA) в Лэнгли-Филде (шт. Виргиния), второй – в августе 1947-го в Лаборатории баллистических исследований (Ballistic Research Laboratories, BRL), расположенной на Эбердинском полигоне (шт. Мэриленд). Model V была сверхнадежной и точной машиной. Построена на 9000 реле и имела в своем составе все блоки, предусмотренные структурой аналитической машины. Запоминающее устройство состояло из тридцати 8-разрядных регистров. Ввод и вывод данных производился через перфоленты, числа представлялись в форме с плавающей запятой. С помощью специальных блоков можно было извлекать квадратный корень и вычислять такие функции, как sin(x), log(x), 10x. Машина содержала два идентичных арифметических устройства (АУ), с каждым из которых было связано 15 регистров памяти. Это позволяло либо одновременно решать две различные задачи, либо объединить оба АУ для выполнения более сложных вычислений. Время выполнения арифметических операций: деление — 2,7 секунды; извлечение квадратного корня — 4,5 секунды; вычисление логарифма — 15 секунд. Во время работы в машину могла быть загружена новая программа, выполнением которой занималось свободное АУ. Помимо этого предусматривалась возможность одновременно использовать нескольких программных перфолент. В зависимости от результатов промежуточных расчетов, устройство управления подключало одну из них. Таким образом создавалось подобие ветвления программы. Весила машина около 10 тонн и обошлась заказчикам в $500 000.

Последней релейной машиной Bell Labs стала Model VI – упрощенная версия предыдущей модели (в частности, она содержала только одно АУ и имела небольшую систему команд). Model V была изготовлена в 1949 г. для внутренних нужд Bell Labs и содержала 4600 реле и 86 тиратронов. С этой моделью закончилась история создания белловских релейных машин. Вклад их создателей в развитие идей вычислительных технологий (ВТ) значителен: кодирование десятичных чисел "кодом с избытком 3" и двоично-пятеричным кодом, положившее начало разработке теории обнаружения ошибок и коррекции кодов; первая реализация дистанционного доступа к ЭВМ; использование двух арифметических устройств, расширявшее функциональные возможности машины; работа с несколькими программными перфолентами, позволявшая осуществлять ветвление программы… Немалое значение для зарождающегося компьютерного сообщества имело и то обстоятельство, что вышедшие из стен Bell Labs машины успешно эксплуатировались в течение многих лет, несмотря на очевидные недостатки их элементной базы (реле): сравнительно невысокое быстродействие, подверженность спорадическим отказам при попадании грязи и пыли между контактами, так называемые явления их подгорания и залипания. В телефонии такие отказы не столь критичны (обычно предусматривается переключение абонента на другую линию и иные виды сервиса), но в ВТ они могут привести к неверным результатам и катастрофическим последствиям (особенно при их использовании в военных целях). Именно поэтому в релейные машины вводилась схемотехническая избыточность, позволяющая определять правильность функционирования отдельных блоков; применялись методы коррекции ошибок; перед пуском программы выполнялись специальные тесты; использовался двойной счет и т. д. В конечном счете все это и удорожало машину, и увеличивало эксплуатационные затраты.