



Check for updates

Обзоры

УДК 681.3

EDN EURLDG

<https://doi.org/10.33910/2687-1270-2025-6-1-41-65>

Эволюционные и революционные этапы создания вычислительных устройств

В. Н. Чихман ¹

¹ Институт физиологии им. И. П. Павлова РАН, 199034, Россия, г. Санкт-Петербург, наб. Макарова, д. 6

Сведения об авторе

Валерий Николаевич Чихман, SPIN-код: [2405-9435](#), Scopus AuthorID: [6701761501](#), ResearcherID: [MFI-3551-2025](#), ORCID: [0000-0002-4955-4608](#), e-mail: chikhmanvn@infran.ru

Для цитирования: Чихман, В. Н. (2025) Эволюционные и революционные этапы создания вычислительных устройств. *Интегративная физиология*, т. 6, № 1, с. 41–65. <https://doi.org/10.33910/2687-1270-2025-6-1-41-65>
EDN EURLDG

Получена 6 февраля 2025; прошла рецензирование 2 марта 2025; принята 11 марта 2025.

Финансирование: Работа выполнена за счет средств федерального бюджета в рамках государственного задания ФГБУН Институт физиологии им. И. П. Павлова РАН (№ 1021062411645-5-3.1.8).

Права: © В. Н. Чихман (2025). Опубликовано Российским государственным педагогическим университетом им. А. И. Герцена. Открытый доступ на условиях лицензии CC BY-NC 4.0.

Аннотация. Приведен исторический обзор этапов создания средств вычислительной техники, начиная с древних времен и до наших дней. Приводятся исторические события, названия устройств, даты изобретений и открытий, термины, используемые в вычислительной технике до сегодняшнего дня. Выделяются эволюционные и революционные моменты и события, способствовавшие изобретению и созданию вычислительных устройств. Даются примеры первых механических разработок, а также имена их авторов, отечественных и зарубежных ученых — математиков, механиков, инженеров, интересные факты из их биографий. Упомянуты события, сопутствовавшие изобретениям и промышленному производству вычислительных устройств. Упомянуты важнейшие открытия и изобретения в области математики, электрофизики, эволюционное и революционное развитие электромеханических и электронных систем вычислительной техники, происходившее на их основе. Рассматривается существующая классификация электронных вычислительных машин по поколениям: от первых электромеханических устройств, ламповых и полупроводниковых машин до современных компьютеров на интегральных схемах. Приводится классификация современных компьютеров по назначению. Названы и рассмотрены теоретические разработки как основа создания современных информационных технологий. Приводятся имена ученых, математиков и инженеров, сделавших важнейшие открытия и изобретения в области вычислительных устройств и смежных наук. Обозначены пути дальнейшего возможного совершенствования вычислительных устройств.

Ключевые слова: вычислительные устройства, электронные вычислительные машины, история вычислительной техники, компьютеры, информационные технологии

Evolutionary and revolutionary development of computing devices

V. N. Chikhman ¹

¹ Pavlov Institute of Physiology, Russian Academy of Sciences, 6 Makarova Emb., Saint Petersburg 199034, Russia

Author

Valeriy N. Chikhman, SPIN: 2405-9435, Scopus AuthorID: 6701761501, ResearcherID: MFI-3551-2025, ORCID: 0000-0002-4955-4608, e-mail: chikhmanvn@infran.ru

For citation: Chikhman, V. N. (2025) Evolutionary and revolutionary development of computing devices. *Integrative Physiology*, vol. 6, no. 1, pp. 41–65. <https://doi.org/10.33910/2687-1270-2025-6-1-41-65> EDN EURLDG

Received 6 February 2025; reviewed 2 March 2025; accepted 11 March 2025.

Funding: This study is part of the state-commissioned assignment to the Pavlov Institute of Physiology, Russian Academy of Sciences (project No. 1021062411645-5-3.1.8).

Copyright: © V. N. Chikhman (2025). Published by Herzen State Pedagogical University of Russia. Open access under CC BY-NC License 4.0.

Abstract. This article presents a historical overview of the development of computing technologies from ancient times to the present day. It documents key historical events, device names, dates of inventions and discoveries, as well as computational terms still in use today. The study identifies both evolutionary and revolutionary milestones that contributed to the advancement of computing devices. The review examines early mechanical innovations along with their creators — notable Russian and international mathematicians, mechanical engineers, and inventors — while also providing interesting biographical details. It highlights the contextual circumstances surrounding these inventions and their subsequent industrial production. The paper discusses fundamental discoveries in mathematics and electrophysics that enabled the progressive development of electromechanical and electronic computing systems. It analyzes the established generational classification of computers — from early electromechanical devices and vacuum tube machines to semiconductor-based systems and modern integrated circuit technologies — while also categorizing contemporary computers by their intended applications. Theoretical foundations underlying modern information technologies are systematically reviewed, with acknowledgment of the scientists, mathematicians, and engineers responsible for pivotal breakthroughs in computing and related disciplines. Finally, the paper outlines potential pathways for future advancements in computing technology.

Keywords: computing devices, electronic computing, history of computing, computers, information technology

Введение

Историческое рассмотрение эволюционных и революционных этапов развития вычислительных устройств несомненно представляет интерес для исследователей — физиологов, поскольку современные физиологические экспериментальные исследования невозможны без внедрения и совершенствования методов измерения разнообразных физиологических параметров, проведения расчетов с привлечением широко используемых методов математического моделирования.

В истории развития человечества, вероятно, счет появился раньше письменности. Вначале человек считал, используя пальцы рук и ног. Историк А. Д. Нечволодов пишет: «...прародители наши умели и считать на десятки, но больше ста они сосчитать не могли» (Нечволодов 2007, 13). Пальцевым счетом пользовались жители Древнего Рима. Шумеры и вавилоняне

использовали шестидесятеричную позиционную систему счисления (число 60 кратно количеству суставов на четырех пальцах руки). Некоторые народы использовали для представления чисел и счета деревянные палочки с зарубками, как в древнем Египте. Деревянные резные бирки использовали в качестве средств расчета на территории Европы, в том числе на территории России. Другие народы — китайцы, персы, индийцы — использовали ремни или веревки с узелками. Затем для счета стали применять различные предметы, например, камешки, разновидностью которых была галька, по латыни *calculus*. Предположительно, отсюда произошли слова калькуляция, калькулятор.

С развитием торговли веревки с узелками и палочки с зарубками перестали удовлетворять потребности в средствах вычисления. Со временем возникла необходимость в создании приспособлений для счета. Вначале для арифметических вычислений стали применять абак —

счетные доски (Гутер, Полунов 1981). Известны вавилонский абак на основе шестидесятеричной системы счисления, египетский, римский, греческий, китайский абак. Варианты абак — японский соробан и русские счеты (XVI–XVII век). В Эрмитаже хранятся счеты, устроенные в ящике из еловых дощечек, скрепленных гвоздями. В начале XVIII века счеты приняли поныне существующий вид (рис. 1).

На спицах счетного поля размещалось 10 или 4 косточки (спица с четырьмя косточками сделана для использования «полушки» — четверти копейки; известна поговорка — «за морем телушка — полушка, да рубль перевоз»). Абак считается первым счетным прибором, который было удобно использовать для выполнения сложения и вычитания, но умножение и деление выполнялись с его помощью сложнее.

Устройства для счета развивались по мере развития математического аппарата, систем счисления. Очевидно, в римской непозиционной системе счисления, в которой для отображения чисел используются буквы латинского алфавита — I, V, X, L, M, C, D непросто выполнять

арифметические операции (например, задание перемножить XII на XIV заставит задуматься). Эволюция устройств для счета связана с появлением арабской системы счисления — позиционной десятичной системы счисления, которая использует десятичное основание и символы от 0 до 9. Система была разработана арабскими математиками в VIII веке и широко распространилась по всему миру.

Механические счетные устройства

Изобретение в XVII веке шотландским математиком Джоном Непером (1550–1617) логарифмов (логарифм числа — это показатель степени, в которую надо возвести основание, чтобы получить число) вызвало революцию в области механизации арифметических операций умножения и деления (Казакова 2011). Логарифмы обладают свойствами, которые обеспечили их использование для упрощения вычислений, когда умножение заменяется на более простое сложение, деление — на вычитание. Были придуманы устройства для механизации логарифмических вычислений (Семендяев 1960). Джон Непер создал «палочки Непера», которые пользовались популярностью. Но вскоре на смену им пришел более совершенный инструмент. Эдмунд Гюнтер (1581–1626) из Оксфорда придумал логарифмическую шкалу, которая далее стала использоваться в логарифмической линейке. В России описание шкалы Гюнтера выполнил шотландский профессор Абердинского университета, впоследствии профессор Российской Морской академии Андрей Данилович Фарварсон (1674–1739).

За 400 лет были созданы сотни модификаций логарифмических линеек, большой вклад в конструкцию которых внесли английский механик Дж. Уатт в 1779 году, великий английский ученый Исаак Ньютон, который в 1670-х годах предложил идею использования «бегунка». В 1851 году французский офицер Маннхейм предложил свою конструкцию прямоугольной логарифмической линейки, а также показал, что «бегунок» можно использовать для сложных вычислений без записи промежуточных результатов (рис. 2).

Знаменательной вехой развития счетных инструментов стал период создания механических устройств — инструментов для усиления интеллектуальной деятельности человека, а именно — счета, вычисления (Апокин, Майстров 1990). Обнаружено, что Леонардо да Винчи в своих дневниках изобразил счетное устройство еще в 1492 г., найден эскиз 13-разрядного

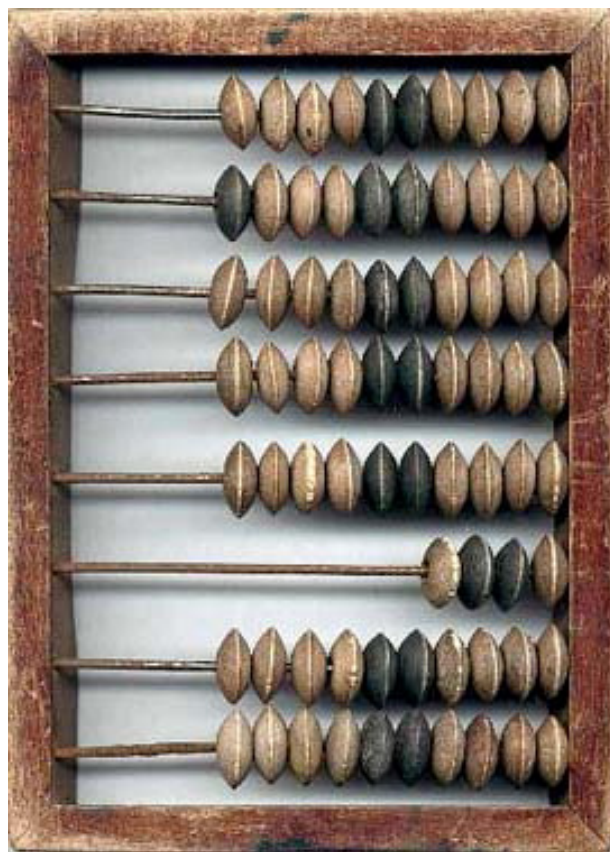


Рис. 1. Русские счеты (Источник: http://db4.sbras.ru/elbib/data/show_page.phtml?20+380)

Fig. 1. Russian abacus (URL: http://db4.sbras.ru/elbib/data/show_page.phtml?20+380)

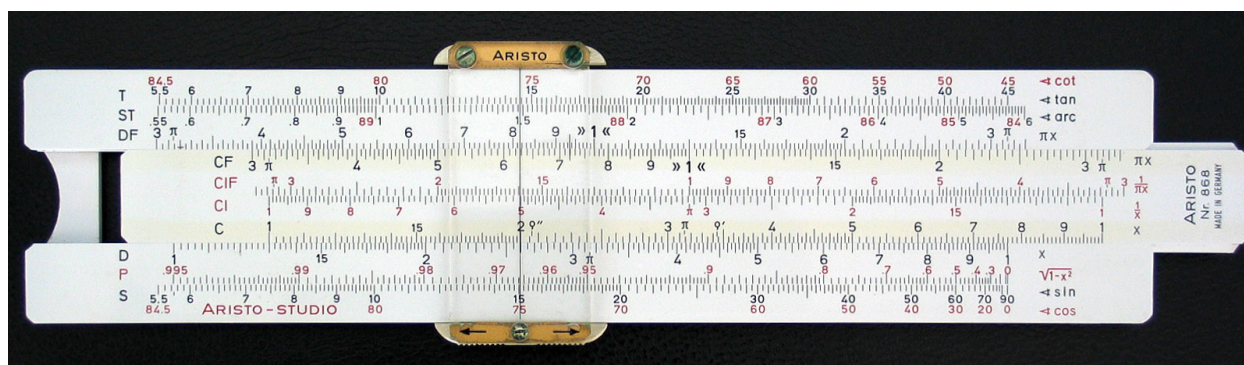


Рис 2. Логарифмическая линейка

(Источник: <https://www.google.com/search?q=фото+логарифмическая+линейка>)

Fig. 2. Slide rule (URL: <https://www.google.com/search?q=фото+логарифмическая+линейка>)

суммирующего устройства с десятизубыми колесами. В XVII–XX веках были созданы различные механические счетные машины, т. е. устройства, выполняющие механические движения для вычислений. В 1645 году было создано механическое устройство в виде ящика с шестернями, выполняющее сложение и вычитание чисел. Изобретатель устройства Блез Паскаль (1623–1662) назвал его суммирующей машиной «Паскалина» (рис. 3). Блез Паскаль, кроме достижений в области математического анализа и теории вероятностей, считается классиком

французской литературы. Он прожил всего 39 лет, но вошел в историю как выдающийся математик, физик, писатель и философ. В его честь назван один из распространенных современных языков программирования, а также единица измерения давления.

В 1673 году немецкий ученый Готфрид Вильгельм Лейбниц (1646–1716) сконструировал механическое счетное приспособление, так называемый ступенчатый вычислитель Лейбница, которое не только выполняло сложение и вычитание, а еще умножало, делило и вычисляло



Рис. 3. Паскалина — суммирующая машина Паскаля

(Источник: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/80/Arts et Metiers Pascaline dsc03869.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/80/Arts_et_Metiers_Pascaline_dsc03869.jpg))

Fig. 3. Pascaline — Blaise Pascal's mechanical calculator

(URL: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/80/Arts et Metiers Pascaline dsc03869.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/80/Arts_et_Metiers_Pascaline_dsc03869.jpg))

квадратный корень. Колесо Лейбница явилось основой для таких счетных приборов, как арифмометры. Например, в производимом в СССР в Курске на заводе «Счетмаш» арифмометре ВММ-2 использовалась идея ступенчатого валика. Считается, что Лейбниц открыл двоичную арифметику, что явилось основанием дальнейших разработок вычислительных устройств (Казакова 2011).

В счетных механических машинах использовали зубчатые колеса, которые имели две формы зубьев — эпициклоидальную и эвольвентную.

Эпициклоидальную форму зуба открыл в 1525 году немецкий художник и математик Альбрехт Дюрер. Эвольвентное зацепление было предложено в 1754 году Леонардом Эйлером — швейцарским и российским математиком. В 17 лет Эйлер защитил магистерскую диссертацию под руководством Н. Бернулли — представителя швейцарской династии, к которой принадлежат 9 крупных математиков и физиков. В 1727 году двадцатилетний Эйлер был приглашен работать в Петербургскую академию наук на отделение медицины, но приехав в Россию, поступил на отделение математики. В Пе-

тербурге Эйлер прожил более 30 лет, похоронен на Смоленском лютеранском кладбище.

Существенный вклад в развитие вычислительной техники внес английский математик Чарльз Бэббидж (1791–1871), выпускник известного Тринити колледжа в Кембридже. Бэббидж занимался физикой, химией и математикой. Он был неординарной личностью, известной своими чудачествами. Так, этот гений заведовал кафедрой математики Кембриджского университета (ранее возглавляемой И. Ньютоном) целых 13 лет, но не прочитал там ни одной лекции. Разработанное Бэббиджем устройство, кроме выполнения арифметических действий, предполагало и печать результатов. Эта механическая вычислительная машина называлась дифференциальной машиной. В ходе работы у Бэббиджа возникла идея создания универсальной вычислительной машины, названной им аналитической (рис. 4), которая стала прообразом современных ЭВМ (Полунов 2004). В единой схеме Бэббидж связал арифметическое устройство, регистры памяти и устройство ввода-вывода, реализованное с помощью перфокарт. Чарльз Бэббидж ввел принцип

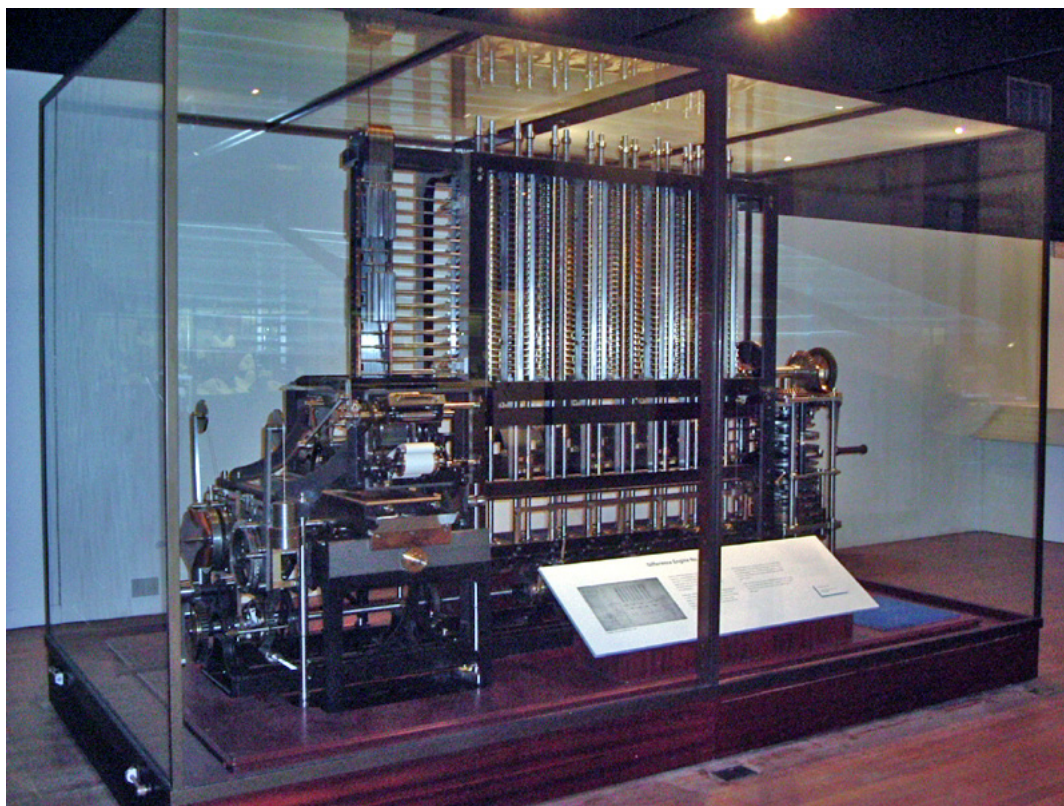


Рис. 4. Аналитическая машина Бэббиджа

(Источник: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:050114_2529_difference.jpg?uselang=ru)

Fig. 4. Charles Babbage's Analytical Engine

(URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:050114_2529_difference.jpg?uselang=ru)

программного управления процессом вычислений. Сотрудницей Бэббиджа была первая женщина-программист Ада Лавлейс (1815–1852), дочь поэта Байрона. Ей принадлежат термины «рабочая ячейка», «цикл», «подпрограмма». Ее именем в XX веке был назван один из языков программирования — ADA. Спроектированные Чарльзом Бэббиджем аналитическую и разностную машины невозможно было построить в ту эпоху. 18 октября 1871 года Чарльз Бэббидж скончался в возрасте 79 лет. Сын Бэббиджа Генри по чертежам отца создал центральную часть «аналитической машины» — арифметическое устройство. В 1888 году это арифметическое устройство выполнило произведения числа «пи» на числа натурального ряда от 1 до 32 с точностью до 29 знаков. К двухсотлетию со дня рождения Бэббиджа сотрудники лондонского Музея науки в 1991 году создали по его чертежам так называемую разностную машину стоимостью почти 500 000 долларов и весом три тонны, а в 2000 году был построен еще и 3,5-тонный принтер Бэббиджа.

Механические счетные устройства создавались и в России. В городе Несвиже Минского воеводства в 1770 году 9-разрядную суммирующую машину создал часовщик и механик Евна Якобсон. Это устройство сейчас хранится в Кунсткамере в Санкт-Петербурге. Русский математик и механик Пафнутий Львович Чебышев (1821–1894) построил суммирующий аппарат, в котором была реализована автоматизация выполнения арифметических действий. Впоследствии в 1881 году он создал приставку

к своему суммирующему аппарату для умножения и деления.

В 1844 году Хаим-Зелик Слонимский из Белостока (в те годы Российская империя) разработал снаряд для сложения и вычитания. На основе идей Слонимского был изготовлен арифметический прибор — «счислитель». Прибор создал петербургский учитель музыки Генрих Куммер (1809–1889). «Счислитель» Куммера оказался более удачным, его преимуществом над устройством Слонимского была портативность. Отметим, что в Днепропетровске в 1949 году артелью «Музремонт» выпускалась счетная машина «Прогресс», которая была модернизированным «счислителем» Куммера, а через десятилетие ленинградский завод «Северный пресс» выпускал модифицированный «счислитель» в виде «арифметической линейки».

Французский предприниматель Шарль Кольмар (1785–1870) считается изобретателем первого коммерческого арифмометра. Однако наиболее популярным арифмометром в то время стал прибор, разработанный российским и шведским механиком В. Однером (1845–1905). Инженер Однер в 1874 году в Петербурге предложил конструкцию «колеса Однера», которое далее стало основным узлом большинства создаваемых в мире арифмометров. После изготовления опытного образца в 1877 году был получен заказ на 14 устройств от Людвиг Нобеля — старшего брата учредителя Нобелевской премии Альфреда Нобеля. Арифмометр Однера (рис. 5) был построен на основе главного элемента — колеса Однера, представляющего



Рис. 5. Арифмометр Однера

(Источник: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/57/Odhner_made_before_1900.jpg)

Fig. 5. The Odhner arithmometer

(URL: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/57/Odhner_made_before_1900.jpg)

зубчатку с переменным числом зубцов. На конструкцию был получен патент во многих странах. Промышленное производство арифмометров в 1890-х годах было налажено в Санкт-Петербурге и в Германии. В Петербурге в Таракановском переулке был расположен завод Однера по производству арифмометров.

После Октябрьской революции завод Однера был национализирован. Наследники Однера создали новое производство в Швеции, а петербургский завод Однера в 1924 году перенесли в Москву, где был налажен выпуск арифмометров под маркой «Феликс» (рис. 6). Названный в честь Феликса Дзержинского, арифмометр выпускался с 1929 по 1978 год общим тиражом в несколько миллионов машин. Основными производителями являлись заводы счетных машин в Курске, Пензе и Москве.

В Москве в 1930-х годах завод счетно-аналитических машин (САМ) выпускал арифмометры «Феликс», табуляторы Т1, Т2. Во время Великой Отечественной войны на этом заводе было выпущено 1,2 млн знаменитых пистолетов-пулеметов конструкции Шпагина (ППШ).

Открытия, связанные с электричеством

Последующая революция в развитии счетных устройств была связана с открытиями в XIX веке в области электричества, благодаря чему появились телеграф, телефон, радио (Калашников 1985; Фейнман и др. 2004). Перечислим некоторые основные открытия и причастные к ним имена.

Луиджи Гальвани (1737–1798), итальянский ученый, основоположник электрофизиологии,

один из создателей учения об электричестве (в его честь предложены термины гальванические элементы, гальваника) обнаружил возникновение разности потенциалов при контакте разных видов металла и электролита.

Алессандро Вольта (1745–1827), итальянский физик и физиолог, один из основоположников учения об электричестве (в его честь названа единица измерения электрического напряжения) создал первый химический источник тока.

Английские ученые У. Николсон (1753–1815) и Э. Карлайл (1768–1842) в 1800 году собрали первую электрическую батарею, обеспечившую ток в цепи.

Майкл Фарадей (1791–1867), английский физик, открыл электромагнитную индукцию, ввел в обиход термины ион, катод, анод, электролит, диэлектрик, в 1821 году изобрел электродвигатель (в его честь названа единица измерения электрического заряда, используемая в электрохимии).

Андре Ампер (1775–1836), французский физик, математик, в 1822 году открыл магнитный эффект соленоида — катушки с током (его именем названа единица измерения силы тока).

Джеймс Клерк Максвелл (1831–1879), британский физик, математик и механик заложил основы классической электродинамики, первый директор знаменитой Кавендишской лаборатории. Развивая идеи М. Фарадея, создал теорию электромагнитного поля, предсказал существование электромагнитных волн (в его честь названа единица измерения магнитного потока).

Георг Ом (1789–1854), немецкий физик, вывел закон, выражающий связь между силой тока в цепи, напряжением и сопротивлением —



Рис. 6. Арифмометр «Феликс» (Источник: <https://www.arif-ru.narod.ru>)

Fig. 6. The Felix arithmometer (URL: <https://www.arif-ru.narod.ru>)

знаменитый закон Ома (его именем названа единица измерения электрического сопротивления).

Сэмюэль Морзе (1791–1872), американский изобретатель и художник, президент Национальной академии рисования в 1844 году изобрел электрический телеграф со своей знаменитой азбукой из точек и тире.

Джозеф Генри (1797–1878), американский физик, построил мощные электромагниты, открыл независимо от Майкла Фарадея явление самоиндукции (единица индуктивности названа его именем). Джозеф Генри был президентом Академии Наук США с 1868 по 1878 год.

Молодой изобретатель Александр Белл (1847–1922) получил у Генри консультацию и сумел осуществить идею передачи речи по проводам. Так появился телефон, запатентованный Беллом в 1876 году. После смерти Генри Александр Белл лично установил телефон в доме вдовы и дочерей Генри. Впоследствии, в лабораториях Белла были изобретены: транзистор, созданный в 1947 году и заменивший громоздкие вакуумные лампы и электромеханические реле; лазер; оптическая связь; сети передачи данных; сотовая телефония; спутники связи; цифровая обработка сигналов (DSP — digital signal processing). Первый цифровой сигнальный процессор, ставший основой мультимедийной революции, также был создан в лабораториях Белла в 1979 году. Эти процессоры работают в мультимедийных компьютерах, беспроводных телефонах. Цифровые сигнальные процессоры стали основой создания систем распознавания и синтеза речи.

Американский изобретатель и предприниматель Томас Алва Эдисон (1847–1931), зарегистрировавший 1093 патента в США и около 3 тысяч патентов в других странах мира, создал фонограф, усовершенствовал телеграф, телефон, киноаппаратуру, разработал один из первых коммерчески успешных вариантов электрической лампы накаливания.

Никола Тесла (1856–1943) — сербско-американский изобретатель, инженер-электрик, наиболее известный своим вкладом в разработку современной системы электроснабжения переменного тока (в его честь названа единица индуктивности).

Нельзя не упомянуть имена отечественных ученых и инженеров.

Борис Семёнович Якоби (1801–1874) — немецкий и русский физик, один из основоположников современной электрохимии, создатель практической гальванопластики, разработчик электродвигателя.

Павел Николаевич Яблочков (1847–1894) — русский электротехник, известен разработкой дуговой лампы и другими изобретениями в области электротехники.

Александр Григорьевич Столетов (1839–1896) открыл явления электромагнитной индукции. В ходе своих экспериментов Столетов установил, что изменение магнитного поля в проводнике вызывает появление электрического тока. Это открытие стало основой для создания генераторов и трансформаторов. Создал первый фотоэлемент, основанный на внешнем фотоэффекте.

Александр Николаевич Лодыгин (1847–1923) — один из изобретателей лампы накаливания.

Павел Львович Шиллинг (1786–1837), «русский немец», храбрый воин, участник Отечественной войны 1812 года, душа петербургской творческой интеллигенции, член-корреспондент Российской Академии наук. В 1832 году Шиллинг, изучая китайские гексаграммы, создает реле, изобретает электромагнитный телеграф.

В 1895 году Александр Степанович Попов (1859–1906), русский физик и электротехник, и параллельно итальянец Гульельмо Маркони (1874–1937) изобретают радио. Маркони умер в Риме 20 июля 1937 года в возрасте 63 лет после девятого сердечного приступа, в день похорон 21 июля 1937 года на две минуты умолкли все радиостанции мира. Во флорентийском соборе Санта Кроче ему установлена памятная плита наряду с великими итальянцами — Микельанджело, Галилеем, Данте и др.

Борис Розинг (1869–1933), петербургский ученый в 1907 году подает заявку на патент электронно-лучевой трубки как приемника данных. Ассистентом у Розинга в то время работал будущий «отец» телевидения, российско-американский изобретатель Владимир Козьмич Зворыкин (1888–1982).

Электромеханические вычислительные машины

На основе изобретений и открытий в области электричества наступает следующий этап развития счетных устройств, а именно разработка электромеханических табуляторов, предназначенных для автоматической обработки числовой и буквенной информации, записанной на перфокартах. Программирование механических устройств с помощью перфокарт впервые было выполнено в ткацком станке. Французский ткач и механик Жозеф Жаккар (1752–1834) в 1802 году создал образец механической машины, управляемой командами, введенными в нее с помощью перфокарт.

Табуляторы делали меньше ошибок при вычислениях, выравнивали текст, имели большую скорость работы, чем арифмометры. Первый статистический табулятор был построен американцем Германом Холлеритом (1860–1929) для переписи населения в США (рис. 7). В 1896 году он представил интегрирующий табулятор, который мог складывать числа, закодированные на 80-колонных перфокартах. Перфокарты применяли для ввода информации в вычислительных машинах до 80-х годов XX века. С 1924 года фирма Холлерита стала называться IBM (International Business Machines) и впоследствии стала родоначальницей эры персональных компьютеров.

Заметим, что в тот же период, в 1874 году, Кристофер Шоулз сконструировал пишущую машинку Ремингтон с раскладкой клавиатуры QWERTY, которой мы пользуемся по настоящее время.

Подчеркнем, что в электромеханических устройствах числа представлялись линейными перемещениями реечных механизмов или угловыми перемещениями зубчаток. Это отражалось на скорости работы и габаритах устройств. Дальнейшее совершенствование вычислительных устройств было связано с представлением чисел сигналами. Это был революционный переход, который базировался на применении двоичной системы счисления и аппарата математической логики Джорджа Буля. Первым исследователем двоичной системы счисления был Лейбниц. Он применял математические законы к двоичной системе счисления, однако его арифмометр работал с десятичными числами. Лейбниц планировал использовать двоичные числа в счетном устройстве, но не реализовал попытки построить такую машину. Английский математик Джордж Буль (1815–1864) (отец писательницы Э. Л. Войнич, сочинившей роман



Рис. 7. Табулятор Холлерита
(Источник: https://kikonline.ru/wp-content/upload/2020/02/hollerith_census_machinechm.jpg)

Fig. 7. Hollerith's tabulator
(URL: https://kikonline.ru/wp-content/upload/2020/02/hollerith_census_machinechm.jpg)

«Овод») изобрел своеобразную алгебру, названную потом его именем (Булева алгебра). В этой алгебре имеется только три основные операции — И, ИЛИ и НЕ, но их достаточно для выполнения сложения, вычитания, умножения и деления. Распространение двоичной системы счисления было обеспечено наличием технических элементов — аналогов двоичной цифры, например, электромеханических реле, имеющих два устойчивых состояния, которые могут меняться под воздействием внешнего электрического сигнала.

Первое электромагнитное реле было создано Павлом Шиллингом в 1830–1832 годах. Это реле составляло основную часть вызывного устройства в разработанном им телеграфе. Но часто первенство отдают американскому физiku Джозефу Генри, который сконструировал контактное реле в 1835 году. Как самостоятельное устройство реле впервые упомянуто в патенте на телеграф Сэмюэля Морзе.

В 30-х годах XX века были построены релейные вычислительные машины, выполняющие сложные расчеты в автоматическом режиме со скоростью, превышающей скорость арифмометров. Наиболее крупные разработки были выполнены в США (Дж. Айкен и Дж. Штибитц) и в Германии (К. Цузе).

Немец Конрад Цузе (1910–1995) в 1930-х годах занимался проектированием самолетов в компании Хенкель. К. Цузе придумал в 1934 году автоматический калькулятор, состоящий из устройства управления, вычислительного устрой-

ства и памяти. Цузе создал версию своего вычислителя Z-1 в 1938 году, а в следующей машине Z-2 механическое арифметическое устройство было заменено устройством на электромагнитных телефонных реле. Коллега Цузе — австриец Г. Шрайер, который раньше работал кинемехаником, предложил сделать устройство ввода программы с помощью перфорированной киноленты (перфорированная киноплёнка использовалась для ввода данных на советской вычислительной машине Урал-1 в 1950-х — 1960-х годах). В 1941 году К. Цузе приступил к проектированию мощной машины Z-3, у которой память позволяла хранить 64 слова и была выполнена с помощью 1400 реле. Арифметическое устройство потребовало еще 600 реле, 400 реле применялось в устройстве управления. Машина Z-3 выполняла не только арифметические операции, но и вычисляла квадратный корень. Скорость Z-3 составляла 3–4 операции сложения в секунду и умножения двух чисел за 4–5 секунд. Машины Цузе были потеряны во время бомбежек Берлина за исключением строящейся Z-4. В последние дни войны Цузе присоединился к группе ученых, разрабатывавших ракеты в Германии. С 1966 года К. Цузе работал в компании Siemens AG.

Американский физик Дж. Айкен (1900–1973), при финансировании фирмой IBM, руководя четырьмя выделенными IBM инженерами, в 1944 году закончил работу над машиной с автоматическим управлением последовательностью операций — «Марк I» (рис. 8). В машине



Рис. 8. Вычислительная машина Марк-1
(Источник: https://elementy.ru/images/kartinka_dnya/potd_marki_1_703.jpg)
Fig. 8. The Harvard Mark-1 (IBM Automatic Sequence Controlled Calculator)
(URL: https://elementy.ru/images/kartinka_dnya/potd_marki_1_703.jpg)

использовались механические и электромеханические элементы, а также встроенные релейные блоки. Сложение и вычитание выполнялось примерно за 0,3 секунды, умножение — за 5,7 секунды, а деление — за 15,3 секунды. В 1947 году была закончена работа над машиной «Марк II», содержащей около 13000 реле.

В 1938 году сотрудник фирмы Bell Laboratories математик Дж. Штибитц (1904–1995), оперируя старыми реле, батарейками, лампочками и проводками, сконструировал первый двоичный сумматор, электрическую схему, выполнявшую операцию двоичного сложения, что является одним из основных компонентов вычислительной машины. Штибитц конструировал релейную машину для выполнения операций с комплексными числами. Был создан ряд машин «Модель I» — «Модель V», каждая из которых содержала до 9000 реле. Числа использовались в форме с плавающей запятой для эффективного представления малых и больших чисел.

В Советском Союзе работающий проект управляемой релейной машины был выполнен в 1957 году. Машина «РВМ-1» (релейная вычислительная машина-1) была создана по проекту инженера Н. И. Бессонова (1906–1963).

Данная машина применялась для решения экономических задач, а именно в 1961–1962 годах для расчета данных по новой системе ценообразования (рис. 9).

Электронные вычислительные машины

Следующий революционный переход от механических и электромеханических вычислительных средств к электронным стал возможен благодаря очередному ряду изобретений и открытий.

Ирландский физик Дж. Дж. Стони (1826–1911) первым ввел в науку термин «электрон», которым он в 1891 году назвал переносимый электрический заряд, а англичанин Дж. Дж. Томсон (1856–1940) в 1897 году определил этот заряд как частицу.

Эффект прохождения тока через вакуум был открыт Томасом Эдисоном в 1883 году, а английский ученый в области электротехники Дж. Флеминг (1849–1945) построил в 1904 году первую электронную лампу — вакуумный диод.

Русский ученый М. А. Бонч-Бруевич (1888–1940) в 1918 году и независимо английские физики У. Икклз (1875–1966) и Ф. Джордан

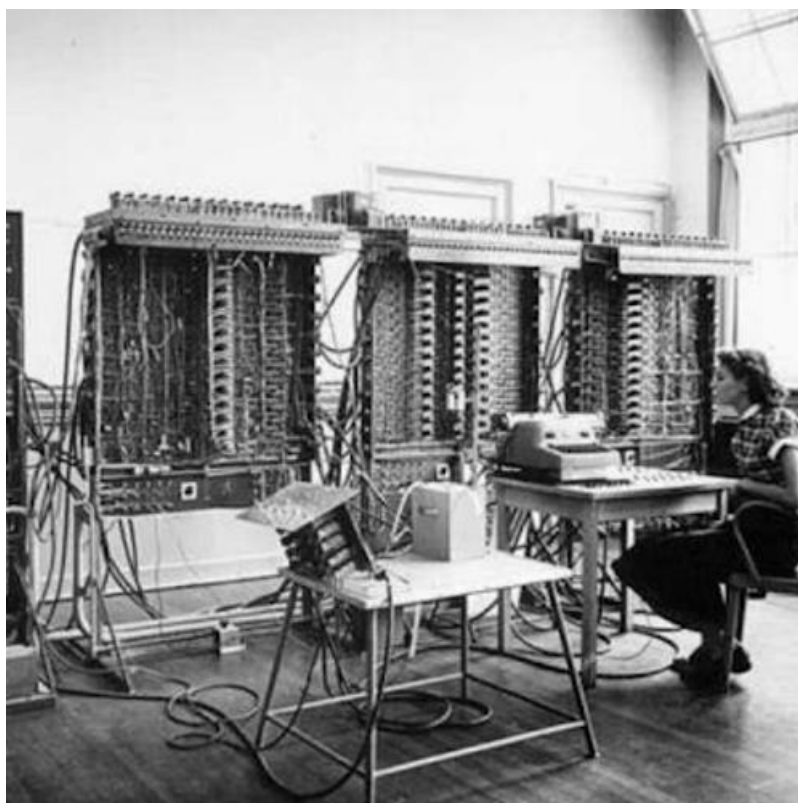


Рис. 9. Релейная вычислительная машина РВМ-1 (Источник: https://encrypted-tbn3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTQDIkKgA36pSBBC35-wgliBNhTPnRKGi8_Rec8xDmLzz3I8XI)

Fig. 9. The RVM-1 relay computer (URL: https://encrypted-tbn3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTQDIkKgA36pSBBC35-wgliBNhTPnRKGi8_Rec8xDmLzz3I8XI)

(1881–1941) в 1919 году изобрели триггер — устройство на базе двух электронных ламп, в каждый момент времени находящееся в одном из двух (ноль — единица), что позволило использовать триггер для хранения двоичной цифры в ЭВМ — электронных вычислительных машинах (рис. 10).

В 1943 году американские ученые Дж. Моучли (1907–1980) и Дж. Эккерт (1919–1995) приступили к созданию первой ЭВМ. Они были сотрудниками Муровской электротехнической школы Пенсильванского университета, выполнявшей работу по корректировке баллистических таблиц стрельбы и бомбометания. Примечательно, что практически все важные разработки счетно-решающих устройств были выполнены учеными, работающими над совершенствованием точности артиллерийской стрельбы. Кафедра вычислительной техники Ленинградского электротехнического института (ЛЭТИ) ранее также называлась кафедрой ПУС — приборы управления стрельбой (Смолов, Пузанков 2001).

В 1946 году была сделана ЭВМ ENIAC (Electronics Numerical Integrator and Computer (рис. 11). Это была конструкция из 18000 электронных ламп и 1500 реле, потребляющая около 150 кВт энергии. ENIAC тратила на умножение 0,0028 секунды, на сложение — 0,0002 секунды.

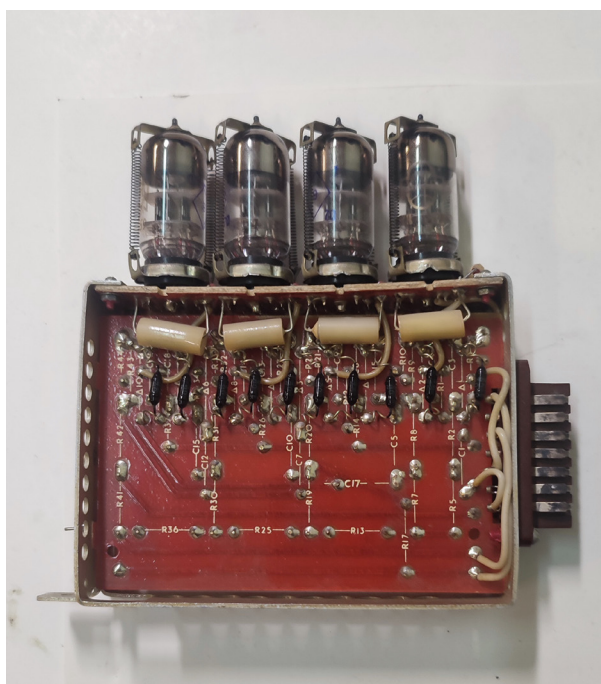


Рис. 10. Триггеры на электронных лампах
(фото В. Н. Чихмана, 2024)

Fig. 10. Vacuum tube flip-flop circuits
(photo by V. N. Chikhman, 2024)

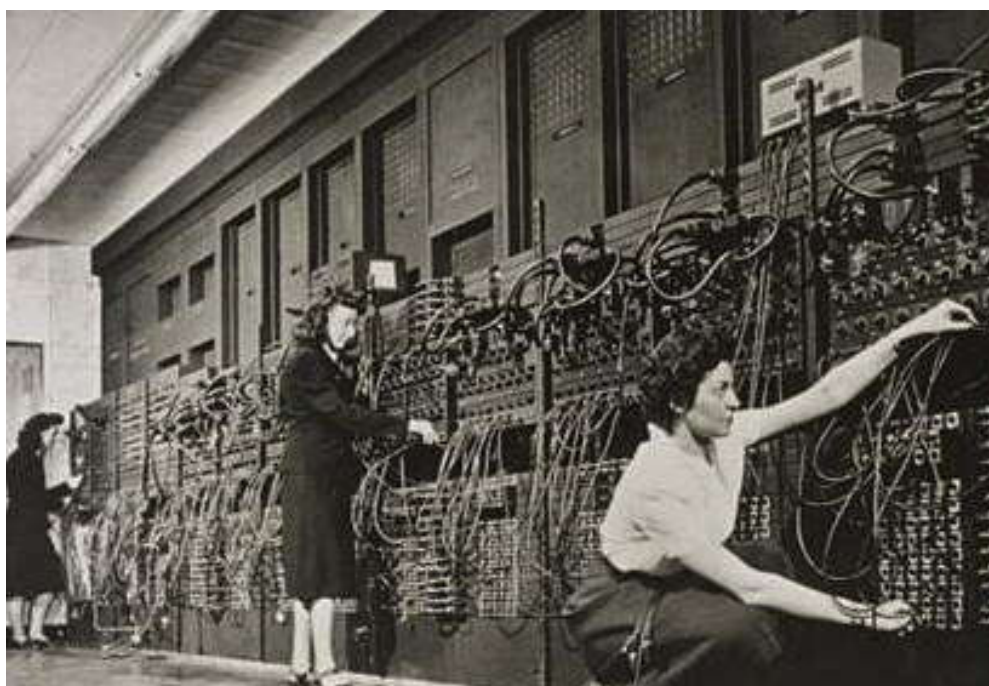


Рис. 11. ENIAC — устройство для расчета артиллерийских таблиц баллистики
(Источник: https://hi-news.ru/wp-content/uploads/2021/02/eniac_first_image_one-750x533.jpg)

Fig. 11. The ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer) for calculating artillery firing tables
(URL: https://hi-news.ru/wp-content/uploads/2021/02/eniac_first_image_one-750x533.jpg)

Однако спустя годы было установлено, что Моучли и Эккерт не изобрели первую ЭВМ, а усовершенствовали изобретение доктора Атанасова.

Дж. Атанасов (1903–1995), болгарин по происхождению, стал американцем во втором поколении. Работал ассистент-профессором математики и физики в колледже штата Айова. В 1933 году он начал работу над автоматизацией вычислений при решении дифференциальных уравнений. С этой целью Д. Атанасов решил сконструировать вычислительную машину с использованием электронных ламп. В 1939 году начались работы по созданию машины. Помощником Атанасова был аспирант К. Берри. Весной 1942 года работа была почти закончена, но из-за войны приостановлена. Д. Атанасов перешел на работу в акустическое отделение военноморской лаборатории в Вашингтоне, а машина была демонтирована. Известно, что Дж. Моучли в 1941 году встречался с Атанасовым и знакомился с разработкой некоторых узлов создаваемой ЭВМ.

Архитектура ЭВМ. Теоретические разработки

Понятие «архитектура ЭВМ» связано с именем выдающегося математика Дж. фон Неймана (1903–1957). Он родился в Будапеште, учился в Цюрихе, работал в университетах Берлина и Гамбурга. В 1930 году переезжает в США, работает в Принстоне, в знаменитом институте перспективных исследований. Кроме математики увлекался историей, знал несколько языков. Дж. Нейман часто бывал в Лос-Аламосе, где создавалась атомная бомба. Сотрудничая с Р. Оппенгеймером и Э. Ферми, давал консультации, участвовал в расчетах, например, Нейман создал математическую модель, подтверждающую осуществимость взрывного способа детонации атомной бомбы. Затем он работал над задачей создания водородной бомбы, что требовало сложнейших расчетов. Оценив значение вычислительных машин, Нейман присоединился к работе Моучли и Эккерта. Были сформированы основные принципы построения ЭВМ, главные из которых — использование двоичной системы и принцип хранимой программы. В дальнейшем большинство разрабатываемых в мире вычислительных машин имело неймановскую архитектуру, согласно которой структура универсальной ЭВМ должна включать следующие блоки:

- 1) арифметическое устройство;
- 2) устройство управления;

3) устройство памяти для хранения программы и данных;

4) устройства ввода-вывода данных.

Сформулированные Нейманом принципы были основой как универсальных ЭВМ первых поколений, так и более поздних мини- и микро-ЭВМ и получили название неймановских принципов.

С учетом выработанных принципов была начата работа над ЭВМ с «неймановской» архитектурой — EDVAC (Electronic Discrete Variable Automatic Computer). В отличие от ENIAC, это была машина на двоичной системе. EDVAC также был разработан в Институте Мура Пенсильванского университета для лаборатории баллистических исследований. Но группа разработчиков распалась, и проект был закончен лишь в 1950 году, т. е. позднее, чем машина EDSAC (Electronic Delay Storage Automatic Calculator — электронный автоматический калькулятор с памятью на линиях задержки), построенная в Англии в Кембридже. ЭВМ имела архитектуру Неймана, все операции выполнялись в двоичной системе. Числа представлялись в форме с плавающей запятой. В этой машине было использовано 24500 электронных ламп.

В первой половине 1950-х годов появляется множество других ламповых ЭВМ. Существенное влияние на развитие вычислительных машин в 1950-е годы оказала Принстонская группа (институт перспективных исследований). Там под руководством Неймана была создана ЭВМ IAS (Institute of Advanced Studies), в которой применялись электронно-лучевые трубки для хранения данных. Одна из последующих машин — JOHNNIAC была названа в честь Неймана (рис. 12). В Массачусетском технологическом институте была разработана ЭВМ Whirlwind — «Вихрь», в которой было применено запоминающее устройство на магнитных ферритовых сердечниках, получившее широкое применение в машинах 1960–1970-х годов для создания быстродействующих запоминающих устройств. ЭВМ «Вихрь» характеризовалась по тем временам высоким быстродействием — 330 тыс. операций сложения в секунду и 60 тысяч операций умножения. В машине применялось 5000 ламп, 11 тысяч диодов. ЭВМ потребляла 150 кВт энергии, ее вес составлял 10 тонн, а занимаемая площадь — 950 м².

В процессе наладки на ЭВМ фиксировались сбои. Инженеры заметили, что это происходит в определенное время после обеда. Вскоре выяснили, что в это время рабочий в соседнем помещении здания включал лифт для подъема грузов и возникала лишняя нагрузка

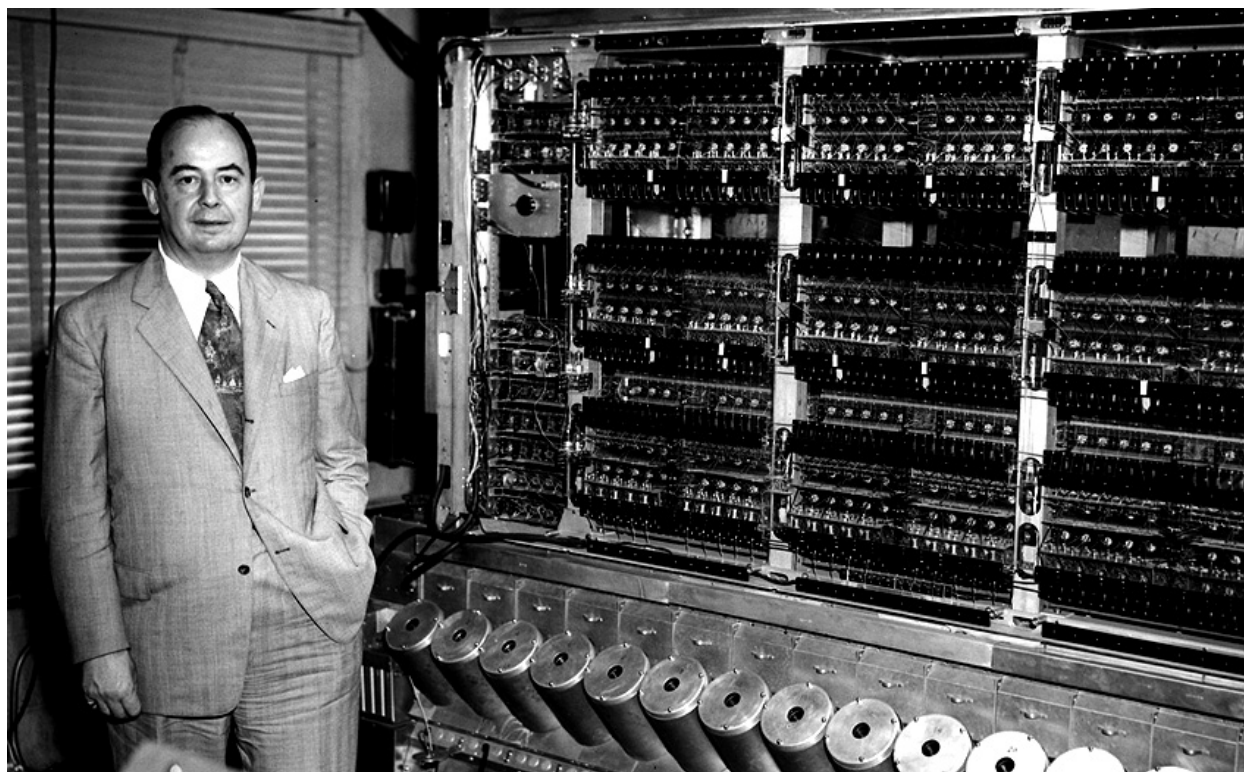


Рис. 12. Д. фон Нейман возле ЭВМ JOHNNIAC
(Источник: <https://21mm.ru/upload/iblock/bee/nh4ys2lqh5fyhvynk09j2zq82532bjzr.jpg>)

Fig. 12. John von Neumann at the JOHNNIAC computer
(URL: <https://21mm.ru/upload/iblock/bee/nh4ys2lqh5fyhvynk09j2zq82532bjzr.jpg>)

на электросеть, что и приводило к сбоям. После этого для питания машины стали использовать систему «мотор — генератор», инерционность которой обеспечивала защиту от пиков напряжения, возникающих при подключении дополнительных потребителей энергии. Система «мотор — генератор» применялась для питания универсальных ЭВМ до 90-х годов XX века.

Одним из руководителей проектов вычислительных машин, создаваемых в Англии, был выдающийся математик Алан Тьюринг (1912–1954). После аспирантуры Принстонского университета и защиты в 1938 году докторской диссертации Тьюринг не стал работать ассистентом Дж. фон Неймана, а вернулся в Кембридж. В своих работах Тьюринг ввел понятие абстрактного эквивалента математического вычислительного алгоритма, который называют «машина Тьюринга». Эта машина должна была справляться с любой теоретически разрешимой задачей — математической или логической. Тьюринг доказал — любая проблема может быть решена автоматами, если возможна ее алгоритмизация. Тьюринг занимался теоретическими вопросами и построением практических вычислительных машин, проводил параллель

между работой мозга и действиями вычислительной машины. Он написал знаменитую статью «Может ли машина мыслить?» (Тьюринг 1960). Во время Второй мировой войны Тьюринг работал в департаменте связи над созданием машины для расшифровки кода Энигма, с помощью которого во время войны были зашифрованы секретные сообщения немцев. Чтобы раскрыть этот код, была организована группа исследователей разных профессий — от инженеров до лингвистов. Группа математиков, среди которых был и Алан Тьюринг, разработала математический метод дешифровки кода. Тьюрингом была построена программируемая электронная машина Collossus. Перехваченные сообщения неприятеля вводились в память в виде символов. Затем в поисках соответствия машина сопоставляла зашифрованное сообщение с уже известными кодами. Но Collossus был не универсальной, а специализированной машиной и ее применение ограничивалось расшифровкой секретных кодов, состав команды машины держали в секрете до 1970-х годов.

Исследования Тьюринга оказали большое влияние на теоретическое программирование и разработки искусственного интеллекта.

Всемирной ассоциацией вычислительной техники была учреждена премия имени Тьюринга за выдающиеся работы в области математики и информатики. В области информационных технологий эта премия имеет статус, аналогичный Нобелевской премии. Размер премии составляет 250000 долларов, премия спонсируется фирмами Intel и Google.

В качестве теоретика, создававшего теоретическую базу для разработки математического обеспечения ЭВМ, нельзя не упомянуть Норберта Винера (1894–1964), американского ученого, основоположника кибернетики и теории об искусственном интеллекте. Норберт Винер в 18 лет стал доктором философии по математической логике в Корнеллском и Гарвардском университетах, а в 1919 году Винер был приглашен на кафедру математики Массачусетского технологического института. Далее Винер стал профессором Гарвардского, Корнеллского, Колумбийского, Брауновского, Геттингенского университетов, написал много статей по теории вероятностей и математической статистике, по рядам и интегралам Фурье. Во время Второй мировой войны работал над математическим описанием систем наведения зенитного огня, разрабатывал математические модели противовоздушной обороны (ПВО), в результате чего была создана вероятностная модель управления ПВО. Н. Винера считают отцом кибернетики — науки об управлении сложными системами. В истоках кибернетики лежат математика, нейрофизиология и техника, о чем говорит полное название главной книги Винера, которая вышла в 1948 году, «Кибернетика, или управление и связь в живом и машине».

Одним из отцов информационного века считается также Клод Элвуд Шеннон (1916–2001), американский инженер и математик, которого считают основателем теории информации, явившейся основой современных систем связи. Клод Шеннон в возрасте двадцати лет в 1936 году выполнил работу, соединившую математическую логику с двоичной системой счисления и электрическими цепями. Он же в 1948 году предложил использовать термин «бит» (binary digit) для обозначения наименьшей единицы информации в статье «Математическая теория связи». Далее в 1949 году Клод Шеннон доказал теорему отсчетов, которая используется сегодня и заключается в следующем. Аналоговый сигнал может быть восстановлен по своим дискретным отсчетам, взятым с частотой большей двойной максимальной частоты спектра сигнала. Эта теорема впервые была доказана советским уче-

ным Владимиром Котельниковым (1908–2005) в 1933 году в работе «О пропускной способности эфира и проволоки в электросвязи». Шеннон доказал эту теорему независимо от Котельникова через 16 лет. Но в 1999 году Международный научный фонд Эдуарда Рейна (Германия) признал приоритет В. Котельникова.

Отечественные разработки ЭВМ

В СССР разработки вычислительной техники на электронных лампах осуществлялись в конце 1940-х — начале 1950-х гг. К первым разработчикам относятся Сергей Алексеевич Лебедев (1902–1974), Исаак Семенович Брук (1902–1974), Башир Искандерович Рамеев (1918–1994).

В 1948 году был создан Институт точной механики и вычислительной техники АН СССР, возглавляемый академиком С. А. Лебедевым (Ревич, Малиновский 2014). Основное направление школы С. А. Лебедева — разработка машин с высоким быстродействием. С. Лебедев обосновал принципы построения ЭВМ с хранимой в памяти программой независимо от Д. Неймана и реализовал эти принципы в ЭВМ МЭСМ. МЭСМ имела 6 тыс. электронных ламп и размещалась на площади 60 м². В 1950-е годы С. Лебедев запускает в серию машину БЭСМ на заводе в Ульяновске. БЭСМ имела 4 тыс. электронных вакуумных ламп и 5 тыс. полупроводниковых диодов, потребляла 80 кВт энергии. Быстродействие машины составляло величину порядка 10 тыс. операций в секунду. У машины была оперативная память на электронно-лучевых трубках на 2048 чисел.

Деятельность И. Брука связана с созданием управляющих ЭВМ для разного применения. Разработки тех лет — машины М-1, М-2, М-3, М-4, М-7 (Брук 1957), позднее получили развитие в сериях ЭВМ «Минск» и «Раздан». Создатели машины М-1 добились больших успехов в области вычислительной техники. Николай Яковлевич Матюхин (1927–1984) стал членом-корреспондентом АН СССР, главным конструктором вычислительных средств для ПВО СССР. Михаил Александрович Карцев (1923–1983) — главным конструктором вычислительной системы предупреждения о ракетном нападении.

На Московском заводе счетно-аналитических машин были созданы первая серийная ламповая машина «Стрела» (рис. 13) и наиболее мощная из советских ламповых машин «М-20» (рис. 14). Затем «М-20» начали выпускать в 1958 году на заводе вычислительных машин в Казани.



Рис. 13. ЭВМ «Стрела» (Источник: https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fvilianov.com%2Fpersons%2Fevm-strela-na-kotoroy-rasschityvali-polet-yuriya-gagarina%2F&psig=AOvVaw1RePFT8NxYRwu26vZnB_39&ust=1739348049346000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBEQjRxqFwoTCPDh282Wu4sDFQAAAAAdAAAAABAT)

Fig. 13. The Strela computer (URL: https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fvilianov.com%2Fpersons%2Fevm-strela-na-kotoroy-rasschityvali-polet-yuriya-gagarina%2F&psig=AOvVaw1RePFT8NxYRwu26vZnB_39&ust=1739348049346000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBEQjRxqFwoTCPDh282Wu4sDFQAAAAAdAAAAABAT)



Рис. 14. ЭВМ М-20 (Источник: <https://retrotexnika.ru/assets/components/phpthumbof/cache/860518b0da898529b5f36024919e0f96.a87f4cf9306bc1933a3398b0de0c6e73.jpg>)

Fig. 14. The M-20 computer (URL: <https://retrotexnika.ru/assets/components/phpthumbof/cache/860518b0da898529b5f36024919e0f96.a87f4cf9306bc1933a3398b0de0c6e73.jpg>)

Основное направление деятельности Б. И. Рамеева — разработка вычислительной техники универсального назначения. Среди его разработок — ЭВМ «Стрела», серия ЭВМ «Урал». Выпуск ЭВМ «Урал-1» (рис. 15) был начат в 1957 году в Пензе. В 1955 году работы по созданию вычислительных машин стали распространяться из столицы в другие научно-технические центры СССР — Минск (конструкторы Г. П. Лопато, В. Я. Симхес, В. В. Пржиялковский), Казань (К. Е. Минеев, Е. В. Барышников), Ульяновск (С. А. Лебедев), Киев (В. М. Глушков, Б. Н. Малиновский), Ереван (М. Семерджян, А. Кучукян) и др.

В 1955 году был организован первый в стране Вычислительный центр Академии наук СССР (ВЦ АН СССР). Первоначально здесь были установлены всего две машины — «Стрела» и БЭСМ, работавшие круглосуточно. Вычислительный центр возглавил академик А. А. Дородницын (1910–1994). В то время еженедельный план расчетов на машинах ВЦ АН СССР утверждался Председателем Совета Министров СССР (Казакова 2011).

Поколения электронных вычислительных машин

В истории создания ЭВМ выделяют ряд поколений. Каждое отличается от предыдущего новыми технологическими элементами и приемами изготовления. Существует следующая общепринятая классификация поколений.

Первое поколение (1940-е — 1950-е годы)

Элементная база — электронные лампы. ЭВМ строились по архитектуре Неймана, характеризовались большими габаритами, большим потреблением энергии. Быстродействие машин составляло величину в 10–20 тыс. арифметических операций в секунду, а емкость оперативной памяти 1–2 тыс. слов. Программирование на ЭВМ осуществлялось в машинных кодах, для чего необходимо было знать все команды конкретной машины. ЭВМ состояли из ламп, которые выделяли большое количество тепла, поэтому требовались средства охлаждения — вентиляторы, кондиционеры. Лампы часто выходили из строя, эксплуатация ЭВМ требовала наличия бригад инженеров. Машины были больших размеров, в виде ряда шкафов и занимали машинный зал площадью до 150–300 м².

Второе поколение (1950-е — 1960-е годы)

Революционным событием, обусловившим переход к ЭВМ второго поколения, стало изобретение в 1948 году Дж. Бардином, У. Брайтеном и У. Шокли — сотрудниками фирмы «Bell Telephone Laboratories» точечного германиевого транзистора. Транзисторы — это полупроводниковые элементы, которые пришли на смену электронным лампам. Транзистор работает с гораздо большей скоростью, выделяет меньшее количество тепла и потребляет меньше электроэнергии. Срок его службы во много раз больше, чем у электронных ламп. Машины второго



Рис. 15. ЭВМ Урал-1 (Источник: https://informat444.narod.ru/museum/picture/mg_2204.jpg)

Fig. 15. The Ural-1 computer (URL: https://informat444.narod.ru/museum/picture/mg_2204.jpg)

поколения, построенные на транзисторах, имели гораздо лучшие технические характеристики. Для составления программ на этих ЭВМ начали использовать алгоритмические языки. Вместе с тем для хранения информации на машинах второго поколения стали применяться магнитные сердечники и магнитные барабаны.

Одной из первых ЭВМ на транзисторах была машина Atlas Guidance Computer, которая в 1957 году использовалась при управлении запуском ракеты Atlas. В 1959 году фирма IBM создала транзисторную машину модели 7090, выполняющую 229 тыс. операций в секунду. На основе двух IBM 7090 в 1964 году была реализована автоматизированная система продажи авиабилетов в десятках городов мира.

В те годы впервые появился термин «байт» (8-битная единица хранения информации). Термин придумал Вернер Бухгольц, работавший в IBM. По одной версии термин «байт» (byte) произошел от слов BInary digiT Eight с заменой буквы I на Y, по другой «байт» произошел от сокращения слов BinarY TErm (двоичный термин).

В конце 1950-х годов находились в стадии разработки первые отечественные ЭВМ на полупроводниковых элементах («Раздан-2», «Минск-2», «Днепр»). ЭВМ «Минск-2» — первая универсальная отечественная ЭВМ второго поколения была выпущена в 1963 году. В 1966 году была завершена разработка ЭВМ «БЭСМ-6» —

отечественной суперЭВМ (на то время) на полупроводниковых транзисторах (рис. 16). Производительность «БЭСМ-6» величиной 1 млн операций в секунду в то время была рекордной. Машину выпускали по 1987 год, всего было выпущено 355 машин. ЭВМ «БЭСМ-6» эксплуатировались в крупных научных центрах. В 1975 году совместным полетом «Союз — Аполлон» управляли с помощью вычислительного комплекса, в состав которого входила «БЭСМ-6». На этой ЭВМ появились операционные системы, трансляторы, библиотеки численных методов. В 1969 году разработчики «БЭСМ-6» (под руководством С. А. Лебедева) получили Государственную премию.

У ЭВМ второго поколения для соединения элементов использовались печатные платы, которые первым в 1936 году изобрел для радиоприемников австрийский инженер Пауль Эйслер, работавший в Британии. Если ламповые вычислительные машины имели быстродействие несколько тысяч операций в секунду, то ЭВМ на транзисторах — десятки и сотни тысяч. Например, ЭВМ «Урал-11» работала со скоростью 50 тыс. операций в секунду, «Минск-32» — 65 тыс., «Урал-16» — 100 тыс., «БЭСМ-6» — 1 млн операций в секунду. Объем оперативной памяти в ЭВМ второго поколения, которая строилась на магнитных сердечниках, значительно увеличился. Так, у ЭВМ «Урал-14» память составляла 65 тыс. чисел, у «БЭСМ-6» — 32 тыс.

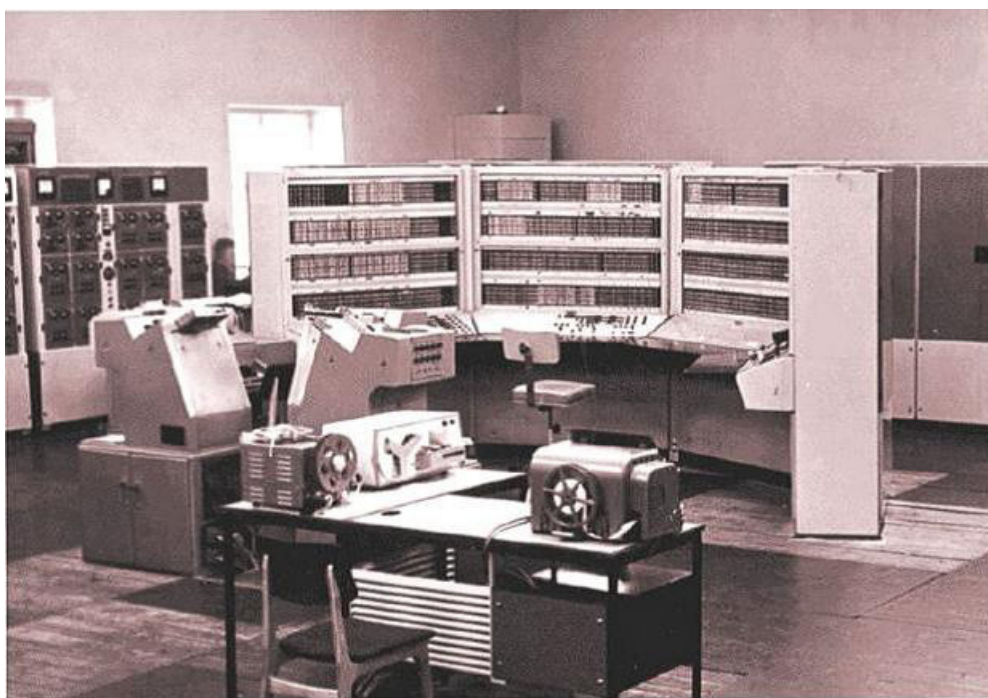


Рис. 16. БЭСМ-6 (Источник: <https://www.besm-6.su/assets/besm6.jpg>)

Fig. 16. The BESM-6 supercomputer (URL: <https://www.besm-6.su/assets/besm6.jpg>)

чисел, у американской «Стретч» — 260 тыс., а у машины «Урал-16» — до 500 тыс. чисел.

Третье поколение (1960-е — 1970-е годы)

Производство ЭВМ на транзисторах представляло трудоемкий процесс. ЭВМ содержали сотни тысяч диодов, десятки тысяч транзисторов. Американские инженеры Джек Килби (фирма Texas Instruments) и Роберт Нойс (фирма Fairchild Semiconductor) в 1959 году независимо друг от друга изобрели интегральную схему (ИС) — устройство, объединившее тысячи транзисторов, размещенных на одном кристалле кремния внутри микросхемы (или чипа, chip — «щепка», «пластинка»). В 2000 году Нобелевскую премию по физике получили Жорес Алфёров и Герберт Крёмер «за разработку полупроводниковых гетероструктур» и Джек Килби «за вклад в изобретение интегральной схемы».

Третье поколение ЭВМ производилось с 1964 по 1974 год, именно на этой новой элементной базе — интегральных схемах. Появление ИС вызвало революцию в вычислительной технике. Одна ИС заменяла тысячи и даже миллионы транзисторов. Один крошечный кристалл стал обладать вычислительной мощностью большей, чем 30-тонная ЭВМ «ENIAC». При сборке машин применялся многослойный печатный монтаж, это обеспечило снижение габаритов ЭВМ, повышение их надежности, увеличение производительности. Отечественными ЭВМ III поколения являлись, например, машины М 4030, Минск-22, обладающие оперативным запоминающим устройством на ферритах, внешней памятью на магнитных лентах. Ввод-вывод информации на этих ЭВМ осуществлялся с помощью перфокарт, перфолент, телетайпного аппарата и алфавитно-цифрового печатающего устройства. Следующая модель — ЭВМ «Минск-32» имела быстродействие 250 тыс. операций в секунду, емкость оперативного запоминающего устройства 65 тыс. чисел.

Представители фирмы IBM 7 апреля 1964 года провели пресс-конференции одновременно в 15 странах мира, на которых сделали важнейшее объявление за всю историю компании. Фирма IBM объявила о создании семейства ЭВМ. Система IBM/360 анонсировала сразу шесть моделей, различающихся по мощности. На исследования, разработку и внедрение в производство одновременно шести машин IBM затратила 5 млрд долларов. Это вдвое больше, чем расходы США на Манхэттенский проект, целью которого было создание атомной бомбы. Главный принцип при проектировании серии

заключался в том, что новая машина должна быть универсальной, решать любые задачи — от логических и вычислительных задач научно-го характера до обработки данных в сфере управления. Ранее ЭВМ специализировались либо на решении научных, либо управленческих задач. Этот принцип универсальности отразился в названии серии — «360», что указывало именно на способность машин решать задачи во всех направлениях, «в пределах 360 градусов». IBM объявила, что новые ЭВМ должны быть совместимы друг с другом. Создавая «Систему-360», IBM открывала также новую эру технологии устройств ввода-вывода. Благодаря широкому распространению IBM/360, изобретенные для нее 8-битные символы и 8-битный байт как минимально адресуемая ячейка памяти стали стандартом для вычислительной техники. IBM/360 стала первой 32-разрядной вычислительной системой. Многие другие фирмы стали выпускать совместимые с IBM/360 машины. Среди отечественных разработок, совместимых по архитектуре, системе команд с IBM/360 можно назвать Минск 32, М-4030, машины первой очереди ЕС ЭВМ и далее — ЕС 1036.

В эти же годы создаются малые вычислительные устройства. В 1960 году фирма DEC (Digital Equipment Corporation) представила первую в мире мини-ЭВМ — модель PDP-1 (Programmed Data Processor — программируемый процессор данных). В комплект машины входили монитор и клавиатура. Эта машина выполняла 100000 операций в секунду, занимала площадь 1,5 м². В 1968 году DEC наладила серийное производство мини-ЭВМ — PDP-8. Именно эту модель PDP-8 могли покупать лаборатории и университеты. В 1970–1974 годах была разработана 16-разрядная ЭВМ PDP11. В СССР в конце 1970 — начале 1980-х годов также был разработан ряд мини-ЭВМ — СМ ЭВМ («система малых» ЭВМ) — М400 (аналог PDP11) и далее СМ1 — СМ4, М6000 и др. Разработка выполнялась в Институте электронных управляющих машин (ИНЭУМ, Москва) при Министерстве приборостроения (главный конструктор Б. Н. Наумов), а также в НПО «Импульс» (Северодонецк, под руководством В. В. Резанова). Комплексы собирали на Орловском заводе управляющих вычислительных машин, в Северодонецке, а также в НПО «Электронмаш» в Киеве.

Четвертое поколение (1970-е — 1980-е годы и далее)

В качестве элементной базы при создании вычислительных устройств стали использовать микропроцессоры, большие интегральные

схемы (БИС). Создаются дешевые микроЭВМ, начинается массовый выпуск персональных компьютеров.

В конце 1960-х годов из фирмы Fairchild Semiconductor уходят Гордон Мур и Р. Нойс. Они создают отдельную фирму по разработке интегральных микросхем. Название новой фирмы как производной от имен основателей было отвергнуто, так как было созвучно фразе «more noise» — «больше шума». Поэтому выбрали название Intel (Integrated Electronics). В 1971 году фирма Intel осуществила революционную идею — создание универсального процессора на кристалле, который выполняет нужную программу, считывая команды из памяти. Микропроцессор Intel 4004 (4 микросхемы, 4-разрядная архитектура) содержал 2300 транзисторов, обладал быстродействием 60 тыс. операций в секунду. Далее были разработаны 8-разрядный Intel 8008, 16-разрядный Intel 8086 (134 тыс. транзисторов), 32-разрядный — 80386 и 80486, содержащий 1,2 млн транзисторов, и др. Таким образом, в конце 1970-х годов произошла микропроцессорная революция, определившая дальнейшее развитие вычислительной техники.

Развитие компьютерных технологий

Появление микропроцессора повлекло за собой важнейшее событие в истории развития вычислительной техники — создание и распространение персональных ЭВМ. Термин «ЭВМ» был заменен термином «компьютер», вычислительная техника часто стала называться компьютерной.

В конце 1970-х годов Стив Джобс и Стив Возняк разработали один из первых персональных компьютеров — Apple. Позже был создан графический интерфейс, управляемый мышью, что привело к появлению компьютера Macintosh. Компьютерная мышь впервые была представлена 9 декабря 1968 года на показе интерактивных устройств. Патент на этот гаджет в 1970 году получил Дуглас Карл Энгельбарт (1925–2013), сотрудник Стэнфорда — один из первых исследователей человеко-машинного интерфейса.

IBM представила 12 августа 1981 года Personal Computer (PC), ставший вместе с программным обеспечением от фирмы Билла Гейтса Microsoft стандартом для персональных компьютеров во всем мире. IBM PC имел следующую конфигурацию: процессор Intel 8088, работающий с частотой 4,77 МГц и имеющий 29 тыс. транзисторов. Компьютер имел 64 Кб оперативной памяти, 1 флоппи-диск емкостью 160 Кб. Тогда из-за отсутствия жесткого диска прихо-

дилось часто менять гибкие дискеты. В 1984 году IBM представила компьютер IBM PC AT. Важно, что был обеспечен переход на микропроцессоры более высокого уровня с сохранением совместимости с предыдущими моделями. В начале 1989 года Intel выпустила микропроцессор 486 со встроенным математическим сопроцессором.

В начале 1990-х годов сформировался тандем Windows — Intel. В 1985 году была выпущена первая версия графической оболочки Windows, а в 1990 году увидела свет знаменитая версия Win 3.0.

Появляется масса новых внешних устройств и изобретений, обеспечивших революционные изменения в развитии информационных технологий.

В 1982 году Винтон Сёрф и Роберт Кан создали протокол TCP/IP, используемый в сетях Интернет. Винтон Сёрф — человек, которого именуют «отцом Интернета». Сёрф в Калифорнийском университете получил степени магистра и доктора наук и занимался исследованием возможностей сети ARPANET (Advanced Research Projects Agency Network) — компьютерной сети, созданной в 1969 году в Министерстве обороны США и явившейся прототипом сети Интернет.

В 1984 году компанией Hewlett-Packard, основанной в 1939 году Уильямом Хьюлеттом и Дэвидом Паккардом как производитель электроизмерительного оборудования, был создан первый лазерный принтер — HP LJ.

В 1989 году Тим Ли предложил концепцию WWW («WorldWideWeb») — системы, предоставляющей доступ к связанным между собой документам, расположенным на различных компьютерах, подключенных к сети Интернет. Всемирная паутина вызвала настоящую революцию в информационных технологиях и дала толчок развитию Интернета (Таненбаум 2008). В 1998 году разработан стандарт беспроводной передачи Bluetooth (фирма Ericson).

Фирма IBM в 1973 году решила начать выпуск нового периферийного устройства — жесткого диска IBM 3340, так как для хранения и передачи данных между компьютерами гибкие диски емкостью 1,44 Мбайт становились маловаты. Интересно происхождение названия запоминающего устройства на жестком диске, используемого в персональных компьютерах — «винчестер». Американский предприниматель Оливер Фишер Винчестер в 1855 году приобрел оружейную фирму Смита — Вессона. Одной из самых популярных охотничьих винтовок, производимых на заводе Винчестера, была двустволка Winchester выпуска 1894 года, которая

снаряжалась патронами калибра 30–30 (7,62 мм). Обозначение разрабатываемого жесткого диска было «30–30», т. е. два модуля по 30 мегабайт в каждом. Руководитель проекта Кеннет Хотон сказал: «... уж если 30–30, то пусть будет винчестер». Так жесткие диски получили название «винчестеров».

Разнообразие компьютеров

Компьютеры с момента своего появления постоянно меняются по характеристикам, становятся разнообразными, их начинают разделять на классы по размерам, функциональным возможностям, по назначению и другим параметрам. Так, в четвертом поколении компьютеров выделяют суперкомпьютеры, мэйнфреймы, серверы, мини-ЭВМ, микроЭВМ, персональные компьютеры.

Как известно, первыми появились большие ЭВМ, за рубежом называемые мэйнфреймами (Mainframe), эволюционное развитие которых было рассмотрено выше. Элементная база больших ЭВМ развивалась от электронных ламп до интегральных схем с высокой степенью интеграции. Главной вехой в развитии мэйнфреймов считается появление в 1964 году системы IBM/360. В 2000-х годах IBM анонсировала мэйнфрейм System z10. Компьютер z10 использует 64 четырехъядерных процессора. Каждый процессор содержит 991 млн транзисторов.

Серверы — это мощнейшие компьютеры, служащие центральными узлами в компьютерных сетях (Таненбаум 2008). На серверах устанавливается программное обеспечение, позволяющее управлять работой сети. Серверы обеспечивают обслуживание подключенных компьютеров и обеспечивают выход в другие сети. На серверах хранится информация, которой могут пользоваться компьютеры, подключенные к сети.

Появившиеся в 1970-х годах мини-ЭВМ используются для управления технологическими процессами, автоматизации научных экспериментов. МикроЭВМ обязаны своим появлением микропроцессорам. Встроенные микроЭВМ могут управлять технологическими заводскими процессами, автомобильными электронными подсистемами. Эти встроенные устройства часто называют контроллерами, они изготавливаются в виде небольших плат и не имеют внешних устройств.

Развитие микропроцессоров способствовало появлению большого количества специализированных проблемно ориентированных на применение в экспериментальных биологических

исследованиях аппаратно-программных средств. В качестве примера можно назвать продукты, выпускаемые фирмами ADInstruments, Cambridge Scientific Instruments, Digitron, National Instruments и др. Фирма ADInstruments, например, предоставляет комплексные решения для экспериментальных исследований на основе блоков сбора данных PowerLab и программного обеспечения LabChart Pro. Устройства PowerLab обеспечивают высокое разрешение при измерении сигналов в многоканальном режиме, их обработку в реальном времени с помощью широкого выбора усилителей и преобразователей, фильтров и стимуляторов. Программы LabChart Pro позволяют обрабатывать сигналы с высокой частотой с отображением в реальном времени. Среди отечественных производителей выделяются разработки фирм Нейроботикс, Нейротех, Медиком, группы компаний «Виварий», НПФ Биотехнологии.

Персональный компьютер — это вычислительное устройство, предназначенное для личного пользования. Персональные компьютеры, как правило, состояли из системного блока, монитора, клавиатуры. Известны два вида компоновки системного блока — desktop (рабочий стол) и tower («башня»).

IBM в 1986 году был выпущен **ноутбук** — компактный компьютер, содержащий все части (в том числе монитор) в одном корпусе, складывающемся в виде маленького чемоданчика. Планшетные персональные компьютеры аналогичны ноутбукам, но еще меньше по размеру и содержат чувствительный к нажатию экран. Ввод текста и управление осуществляются через экранный интерфейс.

Сейчас технические характеристики вычислительных устройств существенно изменились при миниатюрных габаритах и низком потреблении энергии по сравнению с первыми ЭВМ. Например, российская фирма «Рикор» выпустила ноутбук RIKOR MSK 401.1/16 — мощное решение для специалистов, работающих с ресурсоемкими приложениями. Благодаря высокопроизводительным процессорам вплоть до Intel Core i9 13900HK и AMD Ryzen 9 PRO 6950H, а также быстрой оперативной памяти DDR4 или DDR5 объемом до 48 Гбайт ноутбук RIKOR MSK 401.1/16 легко справляется с задачами, требующими значительных вычислительных ресурсов.

Карманные персональные компьютеры (КПК) — минимизированные вычислительные устройства, помещающиеся в кармане. Управление КПК осуществляется с помощью небольшого экрана (320×240 пикселей — pictures element), чувствительного к нажатию пальца. В КПК

отсутствуют клавиатура и мышь. Появились КПК, содержащие функции мобильного телефона (коммуникаторы, смартфоны). Встроенный в КПК коммуникационный модуль позволяет совершать звонки, а также подключаться к Интернету в любой точке, где есть сотовая связь совместимого формата (GSM/GPRS, CDMA).

Перспективные технологии, искусственный интеллект, суперкомпьютеры

Начиная с середины 1990-х годов отмечается бурное применение компьютерных средств, внедрение во всех областях науки и техники компьютерных сетей, использование вместо централизованной распределенной обработки данных. Сфера применения компьютеров стала включать не только вычислительные задачи. Развились новые способы ввода-вывода разнообразной информации, так называемой мультимедиа. Заработали системы распознавания и синтеза речи.

Ведутся работы по созданию **оптоэлектронных компьютеров**, в которых носителем информации является световой поток. Такие компьютеры состоят из оптических устройств обработки информации. Оптический компьютер в перспективе имеет большую производительность, чем электронный компьютер, и другую архитектуру (Белов и др. 2006).

Проводятся исследования по проектированию **молекулярных компьютеров**, принцип действия которых основан на изменении свойств молекул в процессе фотосинтеза, т. е. когда молекула принимает различные состояния. Предполагается, что эти состояния можно использовать для кодировки чисел (Рамбиди 2007).

Еще одно направление — создание **квантовых компьютеров**, вычислительных устройств, которые работают на основе законов квантовой механики (Валиев, Кокин 2004). В квантовых компьютерах для представления и обработки чисел используются не классические логические элементы, находящиеся в одном из двух состояний — 0 или 1, а кубиты (qubit, quantum bit), которые представляют собой квантовые объекты и состояние которых может быть суперпозицией этих двух значений. Если имеющиеся кубиты связаны между собой, то построенный на их основе квантовый компьютер может обрабатывать параллельно большое число данных. В обыкновенном неймановском компьютере такая операция требует выполнения целого ряда последовательных действий. Такое распараллеливание позволяет квантовым компьютерам решать задачи быстрее, чем сегодняшние супер-

компьютеры. Однако надо признать, что квантовые вычисления остаются пока экспериментальными, до их масштабного применения еще далеко.

В последнее время отмечается бурное развитие технологии нейронных сетей, **искусственного интеллекта** (ИИ). Реальное применение нейросетей началось недавно, хотя работы по нейрокомпьютерингу ведутся много лет. Еще в 1958 году был построен нейрокомпьютер с использованием перцептронов американским ученым Фрэнком Розенблаттом, который назвал его Mark I. Теоретическая работа по нейронным сетям впервые была обозначена в работе МакКаллока и Питтса в 1943 году. В этой работе было показано, что любую арифметическую или логическую функцию можно реализовать с помощью нейронной сети. Нейрокомпьютеры включают в себя множество параллельно работающих вычислительных элементов — наподобие нейронов, образующих нейросети.

Работы с искусственным интеллектом являются сегодня революционными (Каляев 2019). Преобразующее воздействие ИИ обусловлено способностью анализировать огромные объемы данных. Наблюдаемый рост задач машинного обучения искусственных нейронных сетей сегодня в пять раз превышает рост производительности компьютеров.

Высокого быстродействия нейрокомпьютеров можно достичь именно за счет огромного количества нейронов в сетях. Поэтому сложные нейронные сети реализуются на **суперкомпьютерах** — вычислительных системах, обладающих очень большими вычислительными параметрами (Фернбах 1991). Например, суперкомпьютер Blue Gene/P имеет вычислительную мощность 3 квадриллиона операций в секунду, или 3 петафлопс. FLOPS — Floating-point Operations Per Second — единица, показывающая, сколько операций с плавающей запятой выполняет вычислительная система за секунду времени; 1 петафлопс = 1 000 000 000 000 000 флопс = 1 000 000 Гигафлопс = 1 000 Терафлопс. В МГУ эксплуатируются аппаратные установки Blue Gene/P, которые содержат 8192 микропроцессора. Скорость этой конфигурации составляет 27,8 терафлопс. Один из лидеров — суперкомпьютер IBM «Roadrunner» с производительностью 1,026 петафлопса использовался в Министерстве энергетики США. Этот суперкомпьютер построен из 6480 двухъядерных процессоров AMD Opteron и 12960 процессоров IBM Cell 8i. Суперкомпьютер занимает 1100 квадратных метров площади и весит 226 т, его энергопотребление составляет величину 3,9 МВт.

Microsoft в мае 2020 года анонсировала разработку суперкомпьютера на базе облачных средств Azure (глобальная сеть удаленных серверов) для OpenAI (некоммерческой исследовательской организации, основателями которой являются Илон Маск и Сэм Альтман). Azure — это один из немногих самых мощных суперкомпьютеров в мире. Он создан для обучения моделей ИИ, которые требуют больших вычислительных ресурсов. Разработка таких громоздких моделей требует наличия супервычислительной системы или кластеров мощного вычислительного оборудования, соединенных с помощью высокоскоростных сетей с большой пропускной способностью. Так например, нейронная сеть ChatGPT (Generative Pre-Trained Transformer — чат-бот с генеративным искусственным интеллектом, разработанный компанией OpenAI), использует более 175 млрд меняющихся параметров. Она прошла обучение с использованием 420 Гбайт текстовых данных и физически реализована на суперкомпьютере Azure AI, содержащем 285 тысяч процессорных ядер и 10 тысяч GPU (графический процессор — специализированный модуль для быстрой обработки и вывода графики на экран монитора) с производительностью 30 Пфлопс (для сравнения — творения Шекспира занимают объем около 5,5 Мбайт. Если читать по 1 странице текста в минуту круглосуточно, то понадобится 400 лет, чтобы достичь уровня ChatGPT). Однако, несмотря на использование такого мощного суперкомпьютера, как Azure AI, обучение ChatGPT заняло несколько месяцев и стоило около 1,5 млн долларов. При этом затраты электроэнергии были равны трехнедельному потреблению города Нью-Йорка.

Несмотря на колоссальную мощность суперкомпьютеров, возможность создания технического аналога человеческого мозга пока остается научной фантастикой. По предположению академика И. А. Каляева, для моделирования человеческого мозга в реальном времени пона-

добится суперкомпьютер с производительностью 10 в 21 степени флопс (Каляев 2024). Если исходить из сегодняшних технологий, такой суперкомпьютер будет занимать здание размером 300х300 метров в основании и 50 метров высотой, потреблять около 15 ГВатт электроэнергии, что сравнимо с тремя Саяно-Шушенскими ГЭС. По мнению академика, все, что сегодня понимается под ИИ — это компьютерные программы, созданные человеком. Эти программы становятся сложнее и сложнее. Часто создается впечатление, что компьютер мыслит. Но компьютер — это груда металла, которая может только реализовывать алгоритм, заложенный в него человеком-программистом. Современный ИИ — это инструмент, который усиливает интеллектуальные возможности человека в основном за счет огромного быстродействия компьютеров. При этом ИИ пока не способен создать что-то отличное от того, чему он был обучен (Каляев 2019).

Тем не менее, представить сегодняшнюю повседневную жизнь и научные исследования без компьютеров невозможно. В настоящее время, например, в лабораториях Института физиологии им. И. П. Павлова РАН успешно эксплуатируются сотни современных компьютеров, в отдельных лабораториях установлены мощные серверные системы, обеспечивающие реализацию задач обработки динамических изображений, моделирования нейронных сетей, искусственного интеллекта.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии потенциального или явного конфликта интересов, связанного с публикацией данной статьи.

Conflict of Interest

The author declares that there is no conflict of interest, either existing or potential.

Литература

- Апокин, И. А., Майстров, А. Е. (1990) *История вычислительной техники (От простейших счетных приспособлений до сложных релейных систем)*. М.: Наука, 264 с.
- Белов, П. А., Беспалов, В. Г., Васильев, В. Н. и др. (2006) Оптические процессоры: достижения и новые идеи. В кн.: И. П. Гуров, С. А. Козлов (ред.). *Проблемы когерентной и нелинейной оптики*. СПб.: Изд-во НИУ ИТМО, с. 6–36.
- Брук, И. С. (ред.). (1957) *Быстродействующая вычислительная машина М-2*. М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 111 с.
- Валиев, К. А., Кокин, А. А. (2004) *Квантовые компьютеры: надежды и реальность*. Ижевск: РХД, 320 с.
- Гутер, Р. С., Полуннов, Ю. Л. (1981) *От абака до компьютера*. 2-е изд. М.: Знание, 208 с.

- Казакова, И. А. (2011) *История вычислительной техники*. Пенза: Изд-во Пензенского государственного университета, 232 с.
- Калашников, С. Г. (1985) *Электричество*. 5-е изд. М.: Наука, 576 с.
- Каляев, И. А. (2019) Искусственный интеллект: камо грядеши? *Экономические стратегии*, т. 21, № 5 (163), с. 6–15. <https://doi.org/10.33917/es-5.163.2019.6-15>
- Нечволодов, А. Д. (2007) *Сказания о русской земле*. М.: Эксмо, 1088 с.
- Полунов, Ю. Л. (2004) *От абака до компьютера: судьбы людей и машин. Книга для чтения по истории вычислительной техники в двух томах. Т. 2*. М.: Русская редакция, 544 с.
- Рамбиди, Н. Г. (2007) *Нанотехнологии и молекулярные компьютеры*. М.: Физматлит, 256 с.
- Ревич, Ю. В., Малиновский, Б. Н. (2014) *Информационные технологии в СССР. Создатели советской вычислительной техники*. СПб.: БХВ-Петербург, 336 с.
- Семендяев, К. А. (1960) *Счётная линейка*. 11-е изд. М.: Физматгиз, 48 с.
- Смолов, В. Б., Пузанков, Д. В. (2001) *Шесть поколений вычислительной техники (из истории кафедры ВТ)*. СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 242 с.
- Таненбаум, Э. С. (2008) *Компьютерные сети*. 4-е изд. СПб.: Питер, 991 с.
- Тьюринг, А. М. (1960) *Может ли машина мыслить?* М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 112 с.
- Угланов, А. И. (2024) Квантовые компьютеры и искусственный интеллект: будущее или фантастика? *Аргументы недели*, № 23 (920), 10 июня. [Электронный ресурс]. URL: <https://argumenti.ru/interview/2024/06/903688> (дата обращения 01.02.2025).
- Фейнман, Р. Ф., Лейтон, Р. Б., Сэндс, М. Л. (2004) *Фейнмановские лекции по физике. Т. 5. Электричество и магнетизм*. 3-е изд. М.: Едиториал УРСС, 304 с.
- Фернбах, С. (ред.). (1991) *Супер ЭВМ. Аппаратная и программная организация*. М.: Радио и связь, 320 с.

References

- Apokin, I. A., Maistrov, L. E. (1990) *Istoriya vychislitel'noj tekhniki [History of computing technology]*. Moscow: Nauka Publ., 264 p. (In Russian)
- Belov, P. A., Bespalov, V. G., Vasil'ev, V. N. et al. (2006) Opticheskie protsessory: dostizheniya i novye idei [Optical processors: Achievements and new ideas]. In: I. P. Gurov, S. A. Kozlov (eds.). *Problemy kogerentnoj i nelinejnoj optiki [Problems in coherent and nonlinear optics]*. Saint Petersburg: National Research University ITMO Publ., pp. 6–36. (In Russian)
- Brook, I. S. (ed.). (1957) *Bystrodejstvuyushchaya vychislitel'naya mashina M-2 [High-speed computing machine M-2]*. Moscow: Gostekhizdat Publ., 111 p. (In Russian)
- Feynman, R. P., Leighton, R. B., Sands, M. L. (2004) *Fejnmanskie leksii po fizike. T. 5. Elektrichestvo i magnetizm [The Feynman lectures on physics. Vol. 5. Electricity and magnetism]*. 3rd ed. Moscow: Editorial URSS Publ., 304 p. (In Russian)
- Fernbach, S. (ed.). (1991) *Super EVM. Apparatnaya i programmnaya organizatsiya [Supercomputers: Class VI systems, hardware and software]*. Moscow: Radio i svyaz' Publ., 320 p. (In Russian)
- Guter, R. S., Polunov, Yu. L. (1981) *Ot abaka do komp'yutera [From the abacus to the computer]*. 2nd ed. Moscow: Znanie Publ., 208 p. (In Russian)
- Kalashnikov, S. G. (1985) *Elektrichestvo [Electricity]*. 5th ed. Moscow: Nauka Publ., 576 p. (In Russian)
- Kalyaev, I. A. (2019) Iskusstvennyj intellekt: kamo gryadeshi? [Artificial intelligence: Whither goest thou?]. *Ekonomicheskie strategii — Economic Strategies*, vol. 21, no. 5 (163), pp. 6–15. <https://doi.org/10.33917/es-5.163.2019.6-15> (In Russian)
- Kazakova, I. A. (2011) *Istoriya vychislitel'noj tekhniki [History of computing technology]*. Penza: Penza State University Publ., 232 p. (In Russian)
- Nechvolodov, A. D. (2007) *Skazaniya o russkoj zemle [Tales of the Russian land]*. Moscow: Eksmo Publ., 1088 p. (In Russian)
- Polunov, Yu. L. (2004) *Ot abaka do komp'yutera: sud'by lyudej i mashin. Kniga dlya chteniya po istorii vychislitel'noj tekhniki. T. 2 [From abacus to computer: The fates of people and machines. A reading book on the history of computing in two volumes. Vol. 2]*. Moscow: Russkaya redaktsiya Publ., 544 p. (In Russian)
- Rambidi, N. G. (2007) *Nanotekhnologii i molekulyarnye komp'yutery [Nanotechnologies and molecular computers]*. Moscow: Fizmatlit Publ., 256 p. (In Russian)
- Revich, Yu. V., Malinovsky, B. N. (2014) *Informatsionnye tekhnologii v SSSR. Sozdateli sovetskoj vychislitel'noj tekhniki [Information technology in the USSR. Creators of Soviet computing]*. Saint Petersburg: BHV Publ., 336 p. (In Russian)
- Semendyaev, K. A. (1960) *Schetnaya linejka [Counting ruler]*. Moscow: Fizmatgiz Publ., 48 p. (In Russian)
- Smolov, V. B., Puzankov, D. V. (2001) *Shest' pokolenij vychislitel'noj tekhniki (iz istorii kafedry VT) [Six generations of computing (from the history of the LETI Department of Computer Science)]*. Saint Petersburg: ETU “LETI” Publ., 242 p. (In Russian)

- Tanenbaum, E. S. (2008) *Komp'yuternye seti [Computer networks]*. 4th ed. Saint Petersburg: Piter Publ., 991 p. (In Russian)
- Turing, A. M. (1960) *Mozhet li mashina myslit'?* [*Can a machine think?*]. Moscow: Fizmatlit Publ., 112 p. (In Russian)
- Uglanov, A. I. (2024) Kvantovye komp'yutery i iskusstvennyy intellekt: budushchee ili fantastika? [Quantum computers and artificial intelligence: Future or fiction?]. *Argumenty nedeli*, no. 23 (920), 10 June. [Online]. Available at: <https://argumenti.ru/interview/2024/06/903688> (accessed 01.02.2025). (In Russian)
- Valiev, K. A., Kokin, A. A. (2004) *Kvantovye komp'yutery: nadezhdy i real'nost'* [*Quantum computers: Hopes and reality*]. Izhevsk: R&C Dynamics Publ., 320 p. (In Russian)