

Периоды истории вычислительной техники

В истории вычислительной техники выделяют четыре периода:

1. Домеханический (с древних времен до середины XVII в.).
2. Механический (с середины XVII в. до конца XIX в.).
3. Электромеханический (с конца XIX в. до 40-х гг. XX в.).
4. Электронный (с 40-х гг. XX в. по настоящее время).

1. Домеханический период

Понятие числа возникло задолго до появления письменности. Люди учились считать в течение многих веков, передавая и обогащая из поколения в поколение свой опыт.

С древних времен перед человечеством стояли задачи, требовавшие все возрастающих объемов вычислений. Со временем большинство из них находило решения. Еще в античные времена некоторые области математики были настолько развиты, что образованный человек тех лет по уровню знаний вряд ли уступал нынешнему выпускнику школы.

Появление собственности на землю потребовало определения способов вычисления площади участков, что привело к зарождению геометрии. Общеизвестны достижения Евклида, Пифагора и других греческих ученых в этом направлении.

Развитие торговли также ставило все новые задачи. Помимо учета товаров и денежных сумм, появились и более сложные проблемы. Купцам приходилось предпринимать все более дальние путешествия, а для этого требовались средства навигации. Астрономы древности решали и эти задачи. Все в конечном итоге сводилось к расчетам, и чем точнее они были, тем успешнее решались насущные задачи. Также было необходимо осуществлять торговые сделки, проводить землемерные работы, управлять запасами урожая.

Вычислительные способности большинства из нас весьма ограничены. Даже сложить в уме стоимость нескольких мелких покупок и подсчитать сумму сдачи не так уж просто, и тем более о расчете орбиты планеты или координат звезды и говорить не приходится. Поэтому наряду с развитием теории ученые работали и над проблемой автоматизации вычислений. Но тут, к сожалению, прогресс шел гораздо медленнее.

Для вычислений использовались всякие средства, которые имели различные возможности и назывались по-разному. Здесь существует своеобразная классификация:

- 1) примитивные средства;
- 2) первые приспособления;
- 3) первые приборы.

1.1. Примитивные средства

Счет на пальцах

Древнейшим счетным инструментом, который сама природа предоставила в распоряжение человека, была его собственная рука – великолепный естественный компьютер. Она обладает немаловажными достоинствами, которыми современные инженеры стремятся наделить разрабатываемые счетные устройства.

Достоинства счета на пальцах:

- 1) простота и надежность;
- 2) компактность;
- 3) удобство «хранения и транспортировки», то, что он всегда «под рукой»;
- 4) работает в привычной системе счисления – десятичной.

Имена числительные во многих языках указывают, что у первобытного человека орудием счета были преимущественно пальцы. Не случайно в древнерусской нумерации единицы называются «перстами», десятки – «составами», а все остальные числа – «сочинениями». Кисть же руки – пясть – синоним и фактическая основа числительного «пять» у многих народов.

От пальцевого счета (рис. 1) берет начало пятеричная система счисления (одна рука), десятичная (две руки), двадцатеричная (пальцы рук и ног). У многих народов пальцы рук остаются инструментом счета и на более высоких ступенях развития.

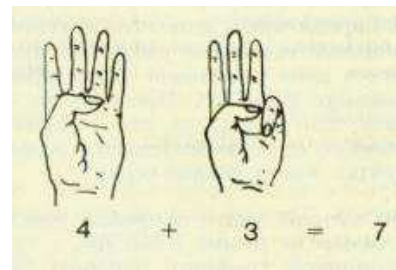


Рис. 1. Счет на пальцах

Хорошо был известен пальцевой счет и в Риме. По свидетельству древнеримского историка Плиния-старшего (погибшего в 79 г. в Помпее во время извержения Везувия), на главной римской площади Форуме была воздвигнута гигантская фигура двуликого бога Януса. Пальцами правой руки он изображал число 300,

пальцами левой – 55. Вместе это составляло число дней в году в римском календаре.

В средневековой Европе полное описание пальцевого счета составил ирландец монах Беда Достопочтенный (около 673–735). Он говорил: «В мире есть много трудных вещей, но нет ничего труднее, чем четыре действия арифметики». Согласно его описанию различные загибы пальцев позволяют изображать единицы, десятки, сотни и тысячи, а определенные жесты рук – считать до миллиона.

С пальцевым счетом можно встретиться и значительно позже. Историк математики Л. Карпинский в книге «История арифметики» сообщает, что на крупнейшей мировой хлебной бирже в Чикаго предложения и запросы, как и цены, объявлялись маклерами на пальцах без единого слова.

Есть, однако, у пальцевого счета и недостатки. Самый существенный из них – неудобство хранения результатов даже в течение короткого времени. Здесь качество быть всегда под рукой оборачивается своей теневой стороной.

Счет на камнях

Чтобы сделать процесс счета более удобным, человек начал использовать вместо пальцев небольшие камни (рис. 2). Он складывал из камней пирамиду и определял, сколько в ней камней, но если число велико, то подсчитать количество камней на глаз трудно.



Рис. 2. Счет на камнях

Поэтому первобытный человек стал складывать из камней более мелкие пирамиды одинаковой величины, а из-за того, что на руках десять пальцев, то пирамиду составляли именно десять камней.

Разные народы вместо камней использовали разные приспособления – кости, бобы, ракушки.

Насечки на дереве или кости (бирки)

Самым древним из таких инструментов считается кость с зарубками, найденная в древнем поселении Дольни Вестоницы на юго-востоке Чехии в Моравии. Этот предмет, получивший название «вестоницкая кость», предположительно использовался за 30 тыс. лет до н.э.

В средние века бирками (рис. 3) пользовались для учета и сбора налогов. Бирка разрезалась на две продольные части, одна оставалась у крестьянина, другая – у сборщика налогов. По зарубкам на обеих частях и велся счет уплаты налога, который проверяли складыванием частей бирки.

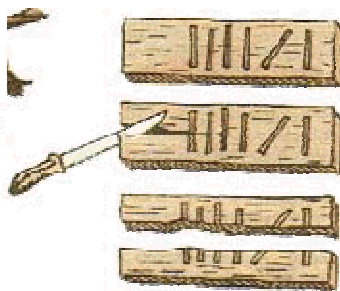


Рис. 3. Насечки на дереве

1. В Англии, например, этот способ записи налогов существовал до конца XVII столетия.

2. При ликвидации старых налоговых обязательств крестьян на дворе лондонского казначейства был устроен костер из накопившихся бирок. Он оказался таким большим, что сгорело и само здание казначейства, а вместе с ним погиб и вделанный в стену образец английской меры длины. Так что с тех пор англичане не знают точной длины своего фута.

Узелковое письмо

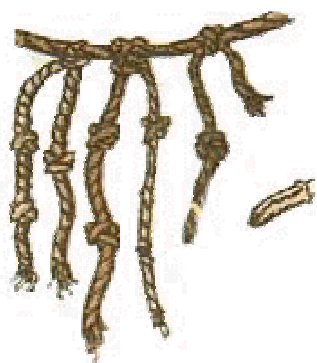


Рис. 4. Узелковое письмо

Другие народы – китайцы, персы, индийцы, перуанцы – использовали для представления чисел и счета *ремни или веревки с узелками*. Американские индейцы называли счетные веревки *куиру*, и в перуанских городах до вторжения в Южную Америку европейцев городской казначей именовался *куиру комоуокуна*, т.е. чиновник узелков.

3. Узелковое письмо (рис. 4) представляло несколько связанных между собой шерстяных или хлопчатобумажных ниток. Знаками на этих нитях служили узлы иногда с вплетенными в них камнями или цветными ракушками. Наиболее широкое распространение узелковое письмо получило в области Центральных Анд в эпоху расцвета государства инков Туантинсуйу



Рис. 5. Узел, обозначающий единицу в кипу

в XV в. н.э. Инки такой способ записи чисел называли *кипу* (quipu), что на языке кечуа означало *узел*. Каждая такая нить прикреплялась в особом порядке к одной нити – основе, образуя как бы бахрому (рис. 5).

Определяющие факторы в узелковом письме:

– **цвет**. В кипу использовались нити разных цветов в зависимости от того, что именно подсчитывалось. Так, например, красная нить могла обозначать количество воинов, а желтая – золота;

– **уровень**. В нижней части нити располагались единицы, выше десятки, сотни и тысячи, а в самом верху десятки тысяч и очень редко сотни тысяч. Таким образом, на всех нитях каждый разряд располагался на одном и том же уровне;

– **форма**. Так, например, единица представлялась узлом в виде восьмерки, а для записи чисел от двух до девяти использовался узел, в котором количество витков как раз и обозначало цифру. Более высокие разряды: десятки, сотни, тысячи и т.д. – записывались с помощью обычного узла.

Со временем техника такого письма совершенствовалась и усложнялась, так что с его помощью можно было записывать и зашифровывать не только числа, но и целые сообщения.

1.2. Первые приспособления

Абак

Следующий шаг в развитии вычислительных устройств был связан со становлением государств Средиземноморья. Усиление торговых отношений между ними привело к созданию нового инструмента, известного практически у всех народов.

Происхождение термина «абак» не установлено. Большинство историков считают, что слово это греческое и означает буквально «пыль». Первоначально на специальной доске в определенном порядке раскладывали однородные предметы (камешки, ракушки, орехи, бобы и т.п.) и пересчитывали их. Для того, чтобы они не скатывались, доска покрывалась слоем песка или пыли. Поэтому абак означает дощечку, покрытую слоем пыли. В своей примитивной форме абак действительно представлял собой такую дощечку.

Со временем доски для подсчета стали расчерчивать на несколько полос или колонок. Это позволило вести счет с помощью однородных предметов значительно быстрее.

При этом количество однородных предметов в первой колонке соответствовало единицам, во второй – десяткам, в третьей – сотням и т.д. Если в одной из бороздок набиралось десять однородных предметов, то их снимали и добавляли один предмет в следующую бороздку. Например, чтобы сложить числа 231 и 156, не надо было брать такое же количество предметов. Достаточно было положить в первую колонку 1 предмет, во вторую – 3, в третью – 2. Затем в таком же порядке под этими предметами раскладывали число 156. Подсчитав число предметов в каждой отдельной колонке, можно было определить сумму 387.

Так люди пришли к изобретению абак – счетной доски, которая многие сотни лет в разных странах помогала экономить время в действиях с большими числами. Абак считается первым и основным счетным прибором древних народов.

Разновидности абак

Вавилонский абак. Вероятнее всего, впервые абак начали применять в Вавилоне. Предполагают, что древние вавилоняне пользовались абак с колонками, соответствующими шестидесятеричной системе счисления.

Греческий абак (Саламинская доска). Из Вавилона изобретение попало в Грецию, где получило свое дальнейшее развитие. В Греции абак существовал уже в V в. до н.э.

Греки вместо деревянных дощечек стали использовать каменные плиты, в которых вытачивались желобки. Такие плиты обычно изготавливались из мрамора и достигали внушительных размеров.

Одна из таких плит была обнаружена на острове Саламин в Эгейском море в 1899 г. «Саламинская доска» (рис. 6), длиной полтора метра и шириной чуть более семидесяти сантиметров, была изготовлена примерно за 300 лет до н.э. На этой мраморной плите в левой ее части было нанесено одиннадцать вертикальных линий, разделенных горизонтальной чертой так, чтобы они образовывали десять столбцов.

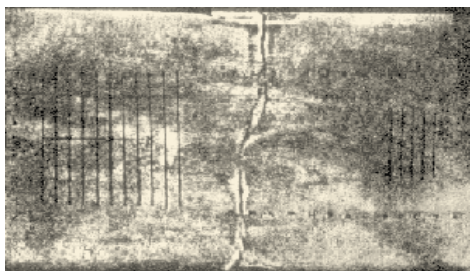


Рис. 6. Саламинская доска

В правой части также было прорезано пять вертикальных линий, которые, в свою очередь, образовывали четыре столбца. По периметру плиты были также высечены буквы греческого алфавита.

О значении абак в жизни греков говорит тот факт, что знаменитый древнегреческий математик Пифагор стремился ввести вопросы счета на абаке в курс математики в качестве обязательного раздела.

Римский абак (Abakuli). Распространяясь среди стран Средиземноморья, «Саламинская доска» постепенно дошла и до Древнего Рима. Это произошло, вероятно, в V–VI вв. н.э. Здесь она стала называться *calculi* или *abakuli*. Слово *calculus* означает «галька», «голыш». От этого слова произошло позднейшее латинское *calculatore* (вычислять) и наше – «калькуляция».

Для изготовления римского абак (рис. 7), помимо каменных плит, стали использовать бронзу, слоновую кость и даже цветное стекло. В вертикальных желобках, разделенных на два поля, также помещались камешки или мраморные шарики.



Рис. 7. Римский абак

Желобки нижнего поля служили для счета от единицы до пяти. Если в одном из нижних желобков набиралось пять шариков, то в верхнее отделение добавлялся один шарик, а из нижнего поля все шарики снимали.

Египетский абак. По свидетельству Геродота, египтяне также пользовались абак и передвигали камешки справа налево.

Китайский абак – суаньпань. Появился в VI в. н.э. Суаньпань (рис. 8) представляет собой прямоугольную раму, в которой параллельно друг другу протянуты проволоки или веревки числом от девяти и более. Перпендикулярно этому направлению суаньпань перегорожен на две неравные части.

В большом отделении («земля») на каждой проволоке нанизано по пять шариков, в меньшем («небо») – по два. Проволоки соответствуют десятичным разрядам.

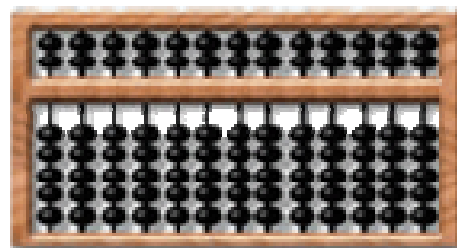


Рис. 8. Китайский абак – суаньпань

При подсчете шарики уже не снимаются с поля, они лишь передвигаются в сторону соседнего поля. Каждый шарик большего поля соответствует единице, а каждый шарик меньшего поля – пяти.

Китайцы могли производить на абаке деление и действия с дробями, извлечение квадратных и кубических корней, на счетной доске вычислялись даже корни системы линейных уравнений. Точность и скорость счета здесь целиком зависели от самого вычислителя.

Японский абак – соробан. Из Китая суаньпань в XV–XVI вв. был завезен в Японию. От него произошел соробан (рис. 9), который окончательно сформировался только в тридцатые годы XX столетия.

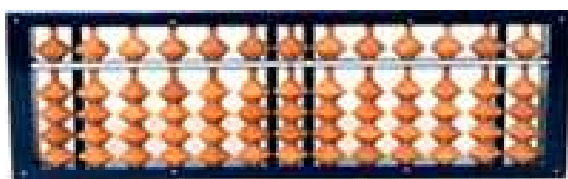


Рис. 9. Японский абак – соробан

Соробан отличается от своего предшественника меньшим количеством шариков в каждом поле. Так, в меньшем поле всего один шарик вместо двух, а в нижнем – четыре вместо пяти.

На рис. 10 приведен пример представления числа на соробане.

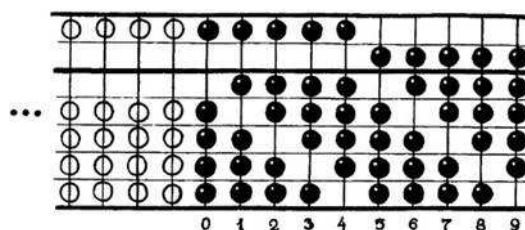


Рис. 10. Представление числа 123 456 789 на соробане

Абак ацтеков. Примерно в X–XI вв. цивилизацией Ацтеков была придумана своя разновидность абак. Они его называли «пероhualtzitzin». Сквозь деревянный каркас были протянуты нити, на которых нанизывались зерна кукурузы.

Каркас был разделен на два поля. В одном поле на каждой нити размещалось по три зерна, а в другом – по четыре. Для работы с таким

инструментом использовалась своя особая система счета.

Абак Герберта (X век). Воланд, один из героев популярного романа Булгакова «Мастер и Маргарита», приезжает в Москву, чтобы познакомиться с найденными здесь «подлинными рукописями чернокнижника Герберта Аврилакского X в.». Герберт, сын крестьянина, из местечка Орильяк на юге Франции, был крупным ученым, замечательным педагогом, государственным и церковным деятелем. Однако недобрая слава «слуги дьявола» долгие годы преследовала его главным образом из-за того, что он мог легко перемножать и делить многозначные числа. Делал он это с помощью счетного инструмента, известного в истории науки как «абак Герберта» (рис. 11).



Герберт

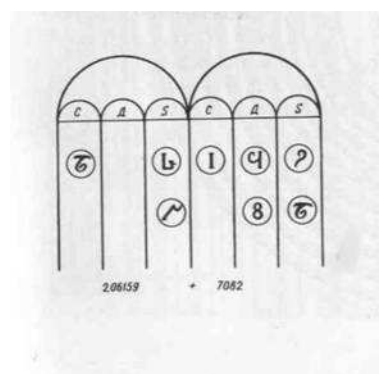


Рис. 11. Абак Герберта

Некоторые ученые утверждают, что Герберт не изобретал абака, а лишь видоизменил счетный прибор, уже известный в раннем средневековье. Это утверждение не умаляет заслуг Герберта, даже если оно справедливо.

В описании Герберта абак представлял собой гладкую доску, посыпанную голубым песком и разделенную на 30 столбцов, из которых 3 отводились для дробей, а прочие группировались по 3 столбца в 9 групп, которые сверху завершались дугами.

Столбцы в каждой группе обозначались (слева направо) буквами C (centum, 100), D (decem, 10) и S (singularis, 1). В отличие от древних форм счетной доски в каждый столбец клали не камешки, а особые нумерованные жетоны, на которых были обозначены 9 первых числовых знаков. Эти изображения на жетонах назывались «апексами» (от лат. *opex*, одно из значений которого – письмен). Апекс нуля отсутствовал, поэтому для изображения нуля в соответствующий столбец жетонов не клали. Иногда вместо жетонов с апексами использовались вырезанные из рога цифры.

Таким образом, 27-разрядное целое число на абаке представлялось как бы сгруппированным по три разряда.

Заслуги Герберта:

- замена камешков нумерованными жетонами, хотя это не представляло больших преимуществ для вычислений. Апексы имели иное значение для развития математики, в них можно видеть ближайших предков тех арабско-индийских цифр, которыми мы пользуемся и поныне;

- сформулировал правила вычисления на абаке. Приведение математической задачи к виду, допускающему решение на абаке, имеет огромное методологическое значение. Правила решения задачи на счетной доске должны представлять собой совокупность четких предписаний, показывающих, как свести данную задачу к конечной последовательности простейших арифметических действий. В процессе дальнейшего развития системы правил и предписаний, выражающих решение задачи через простейшие операции, получили названия *алгоритмов*, а приведение задач к такому виду – *алгоритмизации задач*. Это замечательное открытие и породило взгляд на *вычисления как на рутинный процесс, состоящий в выполнении простейших арифметических действий по заранее составленной схеме*.

О популярности Герберта свидетельствует то обстоятельство, что в средние века вместо слова «*абакист*», т.е. вычислитель на абаке, иногда говорили «*герберкист*» – последователь Герберта. Спустя несколько веков Леонардо Фибоначчи называет счет на абаке Герберта одним из трех существовавших способов вычислений (два других способа – счет на пальцах и письменные вычисления с помощью индийских цифр). Последний способ после выхода книги Леонардо постепенно завоевал популярность, чему немало способствовали проникновение и распространение в Европе XII и XIII столетий бумаги.

В течение следующих двух-трех столетий развернулась острая борьба между *абакистами*, отстаивавшими использование абака и римской системы счисления, и *алгоритмистами*, отдававшими предпочтение арабско-индийским цифрам и письменным вычислениям. Борьба эта завершилась победой алгоритмистов лишь в XVI–XVII столетиях, поскольку сопротивление абакистов было поддержано появлением в XV столетии нового типа абака – счета на линиях.

Английский абак. В XV столетии в Англии появилась новая его форма, называемая «линейчатой доской» (line-board) или «счет на линиях» (рис. 12).



Рис. 12. Английский абак

Линейчатая доска представляет собой горизонтально разлинованную таблицу, на которой выкладываются специальные жетоны. Горизонтальные линии таблицы соответствуют единицам, десяткам, сотням и т.д. На каждую линию кладут до четырех жетонов. Жетон, помещенный между двумя линиями, означает пять единиц ближайшего разряда, соответствующего нижней линии. В вертикальном направлении таблица расчерчивается на несколько столбцов для отдельных слагаемых или сомножителей.

Счет на линиях и счетные таблицы особое распространение получили в XV–XVI столетиях. В Нюрнберге, например, изготовлением счетных жетонов занималась целая отрасль промышленности, поставлявшая всей Европе жетоны различной формы, чеканки и стоимости. Большим разнообразием отличались и счетные таблицы. В английском государственном казначействе в качестве счетной таблицы использовалась разделенная на клетки (chequer) скатерть, покрывавшая стол, на котором производился счет. Поэтому казначейство (exchequer) называлось Палатой шахматной доски.

Счетные таблицы два с лишним столетия были необходимой принадлежностью купца и чиновника, ученого и школяра.

«Счет костями»

Счет на линиях был известен и в России.

Он был описан в рукописной книге XV в. «Счетная мудрость» под названием «счет костями» (рис. 13) (вишневыми или сливовыми косточками). Этим и объясняется замена европейского термина «счет на линиях» русским «счетом костями».

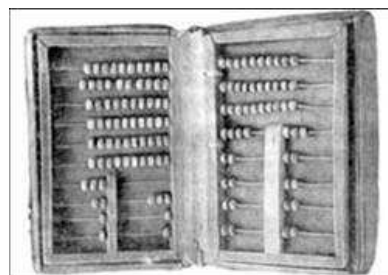


Рис. 13. «Счет костями»

Но если в Европе счет на линиях постепенно был вытеснен письменными вычислениями на бумаге, то в России «счет костями» не

выдержал конкуренции в борьбе с уникальным и замечательным средством вычислений – русскими счетами.

Счеты

На рубеже XVI–XVII вв. появляется русский абак – счеты.

Долгое время считалось, что русские счеты ведут свое происхождение от китайского суаньпаня. Лишь в начале 60-х гг. XX столетия ленинградский ученый И. Г. Спасский убедительно доказал русское происхождение этого счетного прибора. Доказательством служат следующие аргументы:

- 1) у него горизонтальное расположение спиц с косточками;
- 2) для представления чисел использована десятичная (а не пятеричная) система счисления.

Десятичный строй счетов – довольно веское основание для того, чтобы признать временем возникновения этого прибора XVI в., когда десятичный принцип счисления был впервые применен в денежном деле России.

В XVI в. термина «счеты» еще не существовало – прибор именовался «дощаным счетом» (рис. 14). Один из ранних образцов такого «счета» представлял собой два соединенных ящика, одинаково разделенных по высоте перегородками. В каждом ящике два счетных поля с натянутыми веревками или проволочками. На верхних 10 веревках – по 9 косточек (четок), на 11-й – их четыре, на остальных веревках – по одной. Существовали и другие варианты «дощаного счета».

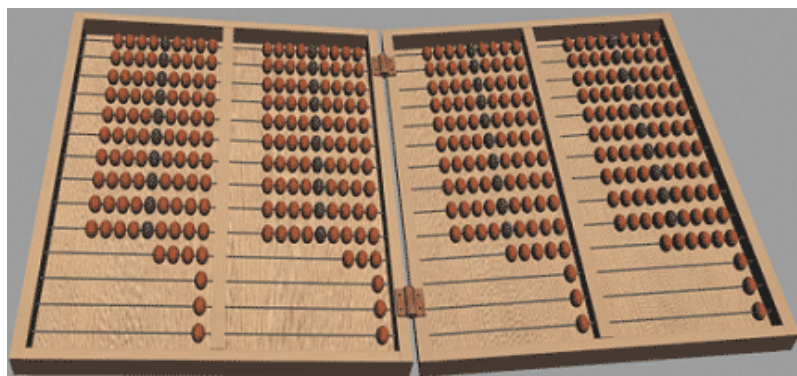


Рис. 14. Дощаный счет. Модель устройства, описанного в «Счетной мудрости» в 1691 г.

В Эрмитаже хранятся различные старинные счеты. Два неглубоких ящичка соединены между собой на петлях и раскрываются в виде книги. Когда сложишь обе половинки,

получается изящная шкатулка, запирающаяся на серебряный крючок. Вся шкатулка собрана из пластинок и брусков слоновой кости, соединенных серебряными гвоздиками. Внутри и снаружи шкатулка украшена орнаментом, костяшками служат бусы из красного и черного стекла с белыми разводами.

Дорогая шкатулка, вероятно, принадлежала богатому человеку. Но отсюда не следует, что «дощаный счет» был доступен лишь богатым. В Эрмитаже есть счеты, устроенные в грубом ящичке из еловых дощечек, сколоченных гвоздями. Конечно, такой «дощаный счет» был доступен многим.

Название прибора изменилось в XVII столетии. В 1658 г. впервые упомянуты «счоты». По свидетельству историков, в XVII столетии они уже изготавливались на продажу.



Рис. 15. Русские счеты

В начале XVIII в. счеты уже приняли вид, существующий и поныне (рис. 15). В них осталось лишь одно счетное поле, на спицах которого размещалось либо 10, либо 4 косточки (спица с четырьмя четками – дань «полушке», денежной единице в $1/4$ копейки).

Русские счеты широко использовались при начальном обучении арифметике в качестве учебного пособия. Благодаря известному французскому математику и механику Ж. Понселе, который познакомился со счетами в Саратове, будучи военнопленным офицером наполеоновской армии, аналогичный прибор появился во французских школах, а затем и в некоторых других странах Европы.

1.3. Первые приборы

Счетные палочки (костяшки) Непера

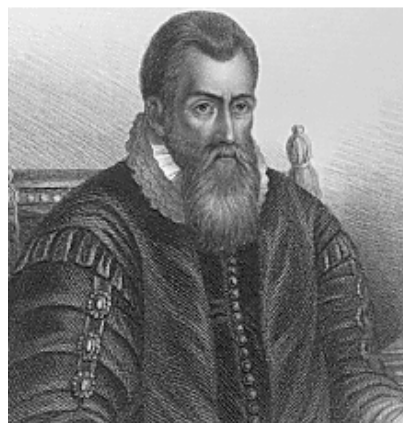
После изобретения абака многие изобретатели и естествоиспытатели пытались придумать приспособления, способные облегчить процесс вычислений. Абак удобно использовать для выполнения операций сложения и вычитания. Умножение и деление выполнять с помощью абака гораздо сложнее.

Революцию в области механизации умножения и деления совершил шотландский математик лорд Джон Непер (John Naiper, 1550–1617).

Джон Непер известен двумя изобретениями.

1. Первое изобретение – в 1617 г. Джон Непер предложил инструмент (рис. 16), получивший название «счетные палочки Непера».

Они выполнялись в виде прямоугольных брусков, разделенных на десять квадратов. Каждый квадрат, в свою очередь, кроме самого верхнего, делился по диагонали на две части, в каждой из которых в определенном порядке записывались числа.



Джон Непер

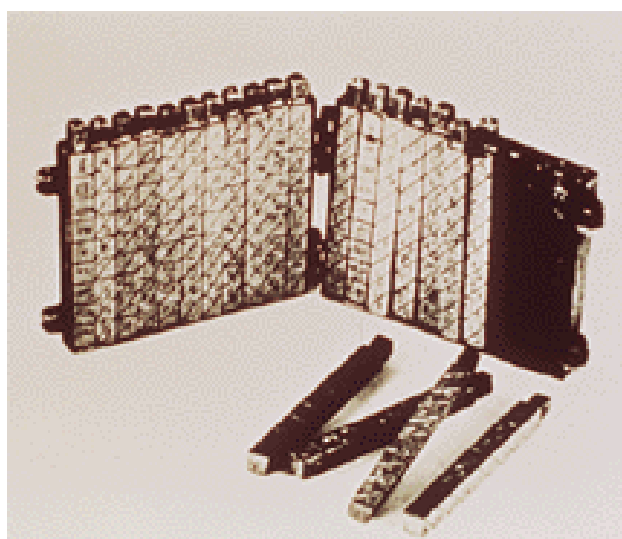


Рис. 16. Костяшки (счетные палочки) Непера

Самый верхний квадрат содержал всего одну цифру. Помимо этого в набор входил еще один брусок, поделенный также на десять частей. Верхний квадрат такого бруска оставался пустым, а в нижние записывались по порядку числа от единицы до девяти.

Для выполнения операции умножения двух чисел брался основной брусок и брусок, у которого в верхнем квадрате был записан один из множителей. Далее эти бруски располагались рядом так, чтобы их края совпадали. После этого в том квадрате, который располагался на одной линии со вторым множителем, из основного бруска складывались два находившихся там числа, при этом число, располагавшееся левее, обозначало десятки, а число правее –

единицы. Таким образом, операция умножения сводилась к сложению (рис. 17).

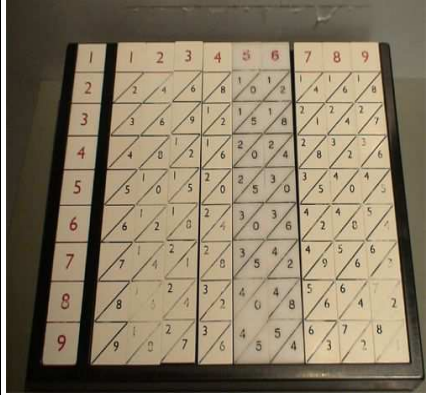
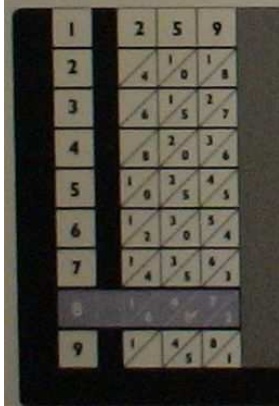
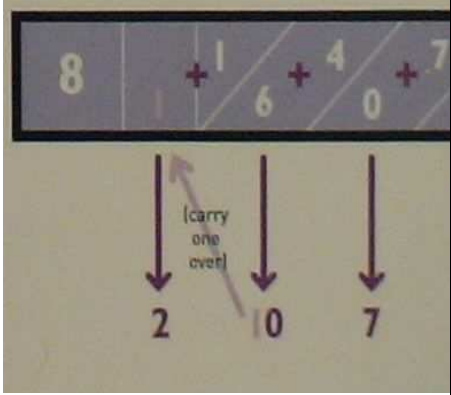
		
Палочки Непера (1617 г.). Выполним умножение 259 на 8	Берем три палочки, первыми цифрами которых являются 2,5 и 9.	Складываем две цифры в каждом отрезке, находящиеся на строке 8, и записываем результат под ним справа налево. Получается 2072

Рис. 17. Вычисления на палочках Дж. Непера

На этом инструменте можно было извлекать квадратные и кубические корни, умножать и делить большие числа.

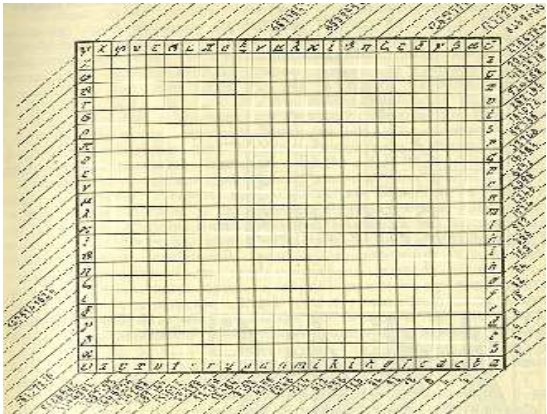


Рис. 18. Счетная доска для выполнения арифметических операций в двоичной системе счисления

Кроме того, Непер предложил счетную доску для операций умножения, деления, возведения в квадрат и извлечения корня в двоичной системе счисления (рис. 18).

Каждую степень числа 2 Непер обозначил отдельной буквой. Из этих букв и цифр формируется любое двоичное число. Для перевода из двоичной системы в десятичную и обратно были разработаны специальные алгоритмы.

2. Второе изобретение – изобретение Непером логарифмов, о чем сообщалось в работе «Описание удивительной таблицы логарифмов», опубликованной в 1614 г. (рис. 19).

Логарифм – это показатель степени, в которую нужно возвести число (основание логарифма), чтобы получить другое заданное число. Непер понял, что таким способом можно выразить любое число. Например, 100 – это 10^2 , а 23 – это $10^{1,36173}$.



Рис. 19. Обложка книги Дж. Непера

Более того, он обнаружил, что сумма логарифмов чисел a и b равна логарифму произведения этих чисел:

$$\ln a + \ln b = \ln (ab).$$

Благодаря этому свойству сложное действие умножения сводилось к простой операции сложения. Чтобы перемножить два больших числа, нужно лишь посмотреть их логарифмы в таблице, сложить найденные значения и отыскать число, соответствующее этой сумме, в обратной таблице, называемой таблицей антилогарифмов.

Основанием таблицы логарифмов Непера является иррациональное число, к которому неограниченно приближаются числа вида $(1 + 1/n)^n$ при безграничном возрастании n . Это число называют неперовым числом и со времен Л. Эйлера обозначают буквой e :

$$e = \lim(1 + \frac{1}{n})^n.$$

Непер составил таблицы, взяв очень хорошее приближение числа e , а именно $(1 + \frac{1}{10^7})^{10^7}$. Логарифмы по основанию e называются натуральными логарифмами и обозначаются \ln (образовано от первых букв слов «логарифм натуральный»).

Вскоре появляются и другие логарифмические таблицы. Они упростили вычисления, но все же эта операция оставалась достаточно трудоемкой и утомительной для тех, кому приходилось ею заниматься ежедневно. Поэтому вслед за изобретением логарифмов делаются попытки механизировать логарифмические вычисления.

Логарифмическая шкала

Наиболее удачной была идея профессора астрономии Грешемского колледжа *Эдмунда Гюнтера*. Он построил логарифмическую шкалу, которая использовалась вместе с двумя циркулями-измерителями. Эта шкала («шкала Гюнтера») представляла собой прямолинейный отрезок, на котором откладывались логарифмы чисел или тригонометрических величин. (Несколько таких шкал наносились на деревянную или медную пластинку параллельно.) Циркули-измерители нужны были для сложения или вычитания отрезков вдоль линий шкалы, что в соответствии со свойствами логарифмов позволяло находить произведение или частное.

На пластинке 600 мм в длину и 37 мм в ширину расположены 6 логарифмических шкал: чисел, синусов, тангенсов, синус-верзусов (была когда-то такая тригонометрическая функция – $\sin \text{vers } \alpha = 1 - \cos \alpha$), синусов и тангенсов малых углов, синусов и тангенсов румбов, а также равномерные шкалы – «линия меридиана» и «линия равных частей».

Логарифмическая шкала является прародительницей логарифмической линейки. Гюнтер известен также и тем, что впервые ввел общепринятое теперь обозначение \log и термины «косинус» и «котангенс».

Логарифмические линейки

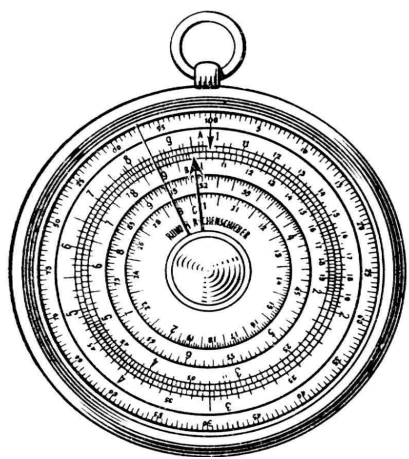


Рис. 20. Круговая линейка У. Отреда

Таблицы Непера, расчет которых требовал очень много времени, были позже «встроены» в удобное устройство, чрезвычайно ускоряющее процесс вычисления, – логарифмическую линейку. Она была изобретена в конце 20-х гг. XVII в.

Изобретателями первых логарифмических линеек независимо друг от друга являются Уильям Отред и Ричард Деламейн. Это событие произошло между 1620 и 1630 гг. На рис. 20 приведена круговая линейка У. Отреда.

В 1654 г. англичанин Роберт Биссакер предложил конструкцию прямоугольной логарифмической линейки, сохранившуюся в принципе до нашего времени. Его линейка состояла из трех самшитовых планок длиной около 60 см: две

внешние удерживались вместе медной оправкой, а третья (движок) свободно скользила между ними. Каждой шкале на неподвижных планках соответствовала такая же на движке. Шкалы имелись на обеих сторонах линейки.

Идея «бегунка» – неотъемлемого элемента современной линейки – была высказана Исааком Ньютоном. Но физически – как элемент логарифмической линейки – «бегунок» появился лишь спустя 100 лет, когда Джон Робертсон, преподаватель Королевской математической школы в Портсмуте, предложил собственную линейку, предназначенную для навигационных расчетов. На одной ее стороне помещались равномерные, а на другой – логарифмические шкалы. Вдоль этой стороны двигался «индекс» – тонкая медная пластинка, с помощью которой можно было считывать соответствующие друг другу числа на различных шкалах линейки.

В 1850 г. Амедей Маннхейм, 19-летний французский офицер, служивший в крепости Метц, предложил прямоугольную логарифмическую линейку, которая стала наиболее популярной среди инструментов подобного рода.

Свой инструмент Маннхейм описал в 1851 г. В течение последующих 20–30 лет его линейки выпускались во Франции, а затем стали изготавливаться фирмами Англии, Германии, США.

Расположение шкал на линейке Маннхейма близко к современному. Кроме того, ему удалось популяризировать применение «бегунка». Он показал, что «бегунок» можно использовать не только для считывания соответствующих чисел на далеко расположенных шкалах, но также и для сложных вычислений без записи промежуточных результатов.

Линейка Маннхейма завоевала популярность во всем мире как портативный и удобный инструмент для ежедневных расчетов, обеспечивающий вычисления с точностью трех десятичных знаков. За 350-летнюю историю были созданы сотни различных конструкций логарифмических линеек. Современный вид логарифмической линейки приведен на рис. 21.

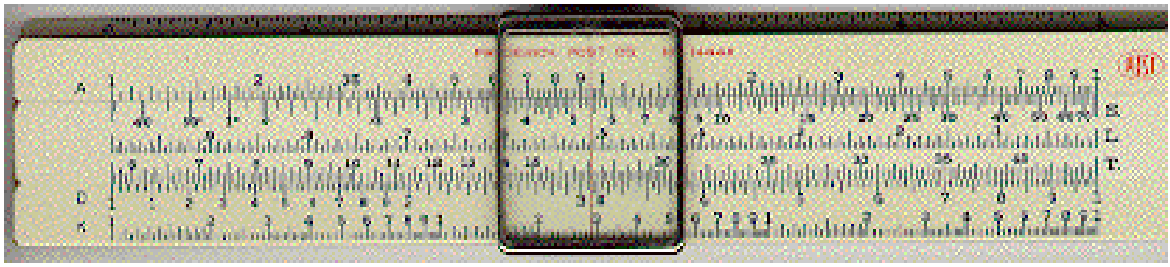


Рис. 21. Логарифмическая линейка XX в.

Краткие итоги

1. В доэлектронной истории вычислительной техники выделяют три периода:

- домеханический (с пещерных времен до середины XVII в.);
- механический (с середины XVII в. до конца XIX в.);
- электромеханический (с конца XIX в. до 40-х гг. XX в.).

2. С древних времен перед человечеством стояли задачи, требовавшие все возрастающих объемов вычислений – это появление собственности на землю, развитие торговли и путешествий.

3. Для вычислений использовались различные средства, которые имели различные возможности. К ним относятся:

- примитивные средства (счет на пальцах, счет на камнях, насечки на дереве или кости (бирки), узелковое письмо);
- первые приспособления (все разновидности абака, счеты);
- первые приборы (счетные палочки Непера, логарифмические шкалы и линейки).

Контрольные вопросы

1. Каков первоначальный смысл английского слова «компьютер»?

2. Какие периоды выделяют в истории вычислительной техники?

3. Каковы причины появления примитивных средств, первых приспособлений и приборов?

4. Какой предмет, созданный древним человеком за 30 тыс. лет до н.э., свидетельствует о том, что уже тогда существовали зачатки счета?

5. Как называется счетное устройство, состоящее из доски, линий, нанесенных на нее, и нескольких камней?

6. В какой стране впервые появился абак?
7. В какой стране впервые появились счеты?
8. Кто изобрел логарифмы в 1614 г.?
9. Какие существовали разновидности абака?

2. Механический период

Настоящая потребность в автоматическом вычислении возникла в средние века в связи с резко возросшими в этот период торговыми операциями и океаническим судоходством. Торговля требовала больших денежных расчетов, а судоходство – надежных навигационных таблиц.

С древнейших времен люди пытались понять окружающий мир и использовать свои знания для защиты от всевозможных бедствий. Заметили, например, что приливы и отливы связаны с различными положениями Луны, и возник вопрос: «А можно ли построить математический закон изменения положения Луны и, используя его, прогнозировать приливы». Ученые составляли громадные таблицы, где фиксировали изменение лунных положений, которые использовались для проверки правильности различных предлагаемых формул движения естественного спутника Земли. Такая проверка опиралась на громадное число арифметических вычислений, требовавших от исполнителя терпения и аккуратности. Для облегчения и ускорения такой работы стали разрабатывать вычислительные устройства. Так появились различные механизмы – первые суммирующие машины и арифмометры.

В течение почти 500 лет цифровая вычислительная техника сводилась к простейшим устройствам для выполнения арифметических операций над числами. Основой практически всех изобретенных за 5 столетий устройств было зубчатое колесо, рассчитанное на фиксацию 10 цифр десятичной системы счисления.

2.1. Машина Леонардо да Винчи



Леонардо да Винчи

Среди двухтомного собрания рукописей итальянского ученого Леонардо да Винчи (1452–1519), известных как «Codex Madrid» и посвященных механике, уже в наше время были обнаружены чертежи и описание 13-разрядного суммирующего устройства (рис. 22). Похожие рисунки также были найдены и в рукописях «Codex Atlanticus». Основу машины по описанию составляют стержни, на которые крепятся два зубчатых колеса, большее с одной стороны стержня, а меньшее – с другой.

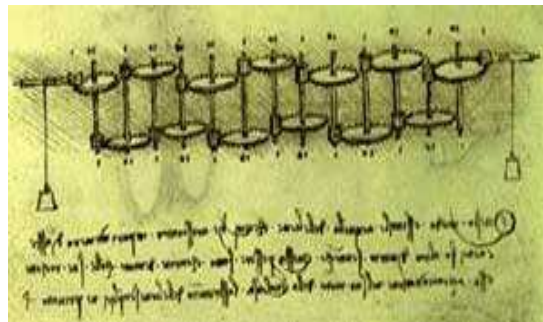
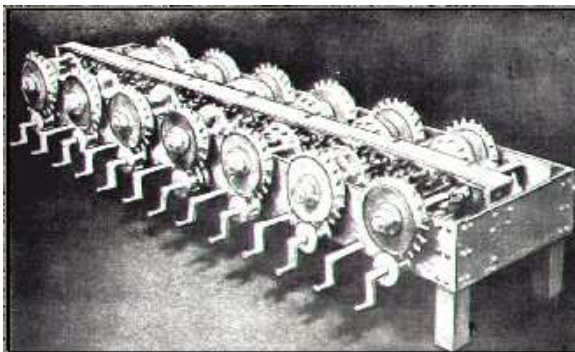


Рис. 22. Машина Леонардо да Винчи

Эти стержни должны были располагаться таким образом, чтобы меньшее колесо на одном стержне входило в зацепление с большим колесом на другом стержне. При этом меньшее колесо второго стержня сцеплялось с большим колесом третьего, и т.д. Десять оборотов первого колеса, по замыслу автора, должны были приводить к одному полному обороту второго, а десять оборотов второго – к одному обороту третьего и т.д. Вся система, состоящая из 13 стержней с зубчатыми колесами, должна была приводиться в движение набором грузов.

В 1969 г. по чертежам Леонардо да Винчи американская фирма IBM по производству компьютеров в целях рекламы построила работоспособную машину. Специалисты воспроизвели машину в металле (рис. 23) и убедились в полной состоятельности идеи ученого.



Рис. 23. Реконструкция машины Леонардо да Винчи

Суммирующую машину Леонардо да Винчи можно считать изначальной вехой в истории цифровой вычислительной техники. Это был *первый цифровой сумматор*, прообраз будущего электронного сумматора – важнейшего элемента современных ЭВМ, пока еще механический, очень примитивный (с ручным управлением).

2.2. Машина В. Шиккарда



Однако потребность в механизации счета была настолько малой, что лишь через сто с лишним лет после смерти Леонардо да Винчи немецкий ученый, профессор кафедры восточных языков Тюбингенского университета Вильгельм Шиккард (1592–1636) предложил свое решение этой задачи.

В. Шиккард разработал счетную машину для суммирования и умножения шестиразрядных десятичных чисел. Причиной, побудившей В. Шиккарда разработать такую машину, было его знакомство с польским астрономом Иоганном Кеплером. Работа великого астронома в основном была связана с вычислениями. В. Шиккард решил оказать ему помощь в нелегком труде. В своих письмах к Иоганну Кеплеру в 1623 г. Шиккард описывает проект суммирующей машины (рис. 24), которую он назвал «счетными часами».

Машина Шиккарда состояла из трех частей:

- суммирующего устройства (для выполнения сложения и вычитания);
- множительного устройства (для выполнения умножения);
- механизма для записи промежуточных результатов.

Множительное устройство занимает верхнюю часть машины, суммирующее – среднюю, для хранения чисел используется нижняя часть машины.

Суммирующее устройство было шестиразрядным. В каждом разряде на оси была закреплена шестерня с десятью зубцами и колесо с одним зубом, пальцем.

Палец служил для передачи десятка в следующий разряд и после полного оборота шестерни поворачивал шестерню следующего разряда на $1/10$ оборота, что соответствовало сложению с единицей. Сложение осуществлялось последовательным вводом слагаемых, а вычитание –

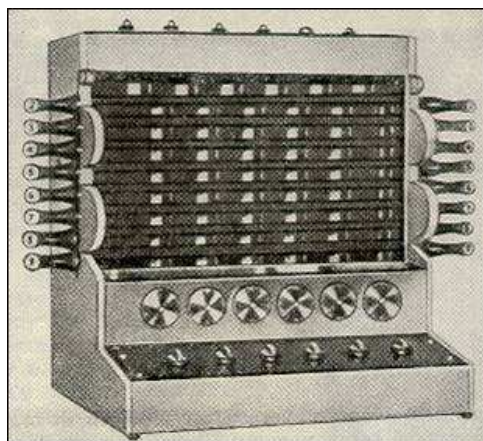


Рис. 24. Реконструкция машины Шиккарда

последовательным вводом уменьшаемого и вычитаемого. При вычитании шестерни вращались в другом направлении. В окошках считывания машины можно было прочесть результат, уменьшаемое и вычитаемое. Деление выполнялось путем многократного вычитания делителя из делимого. Для умножения использовались таблицы умножения, накрученные на шесть осей.

Из письма В. Шиккарда от 25 февраля 1624 г. следует, что он изготовил два работающих образца своей машины, один из которых он хотел подарить И. Кеплеру. Но, к сожалению, обе машины сгорели во время пожара. Поэтому эти машины видели только два человека: сам автор, Вильгельм Шиккард, и механик Вильгельм Пфистер, который выполнял заказ В. Шиккарда. Данных о дальнейшей судьбе машины история не сохранила.

О самом проекте забыли на долгие годы, пока в 60-х гг. XX столетия, используя письма В. Шиккарда и его чернильный набросок с пояснениями для В. Пфистера, удалось построить действующую модель «счетных часов». Она хранится в доме-музее И. Кеплера, на его родине в городе Вайле.

Об изобретениях В. Шиккарда и Леонардо да Винчи стало известно лишь в наше время. Современникам они были неизвестны. По-видимому, лишь узкий круг лиц был осведомлен о создании этих машин.

Именно поэтому долгое время считалось, что первый арифмометр изобрел в 1642 г. знаменитый французский ученый Б. Паскаль.

2.3. Суммирующая машина Б. Паскаля

Первую машину, которая могла считать сама, создал французский ученый Блез Паскаль (1623–1662). Он задумал ее еще в детстве. Его отец работал сборщиком налогов и все вечера занимался подсчетами. Сын видел, как отец уставал от этого занятия, и мечтал подарить отцу машину, которая бы облегчила его труд.

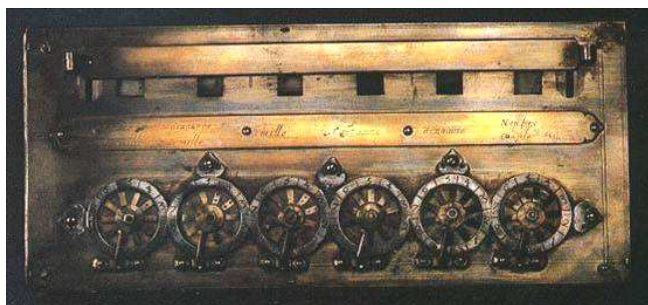
В 1642 г. Б. Паскаль сконструировал первый механический вычислитель, позволяющий складывать и вычитать числа. Для выполнения арифметических операций Паскаль заменил поступательное перемещение костяшек в абаковидных



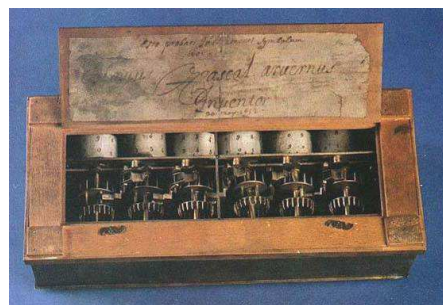
Блез Паскаль

инструментах на вращательное движение оси (колеса). Таким образом, в его машине сложению чисел соответствовало сложение пропорциональных им углов.

Эта машина вошла в историю вычислительной техники под названием «Паскалина» (рис. 25). За время работы над устройством Паскаль сделал более 50 различных моделей своей машины, в которых он экспериментировал не только с материалами, но и с формой деталей машины. До наших дней сохранилось восемь его машин.



а)



б)

Рис. 25. Паскалина: а – вид спереди; б – вид сзади

Первая работающая машина была изготовлена в 1642 г., но окончательный вариант ее появился только в 1654 г. Она представляла собой небольшой латунный ящик размером 350×125×75 мм.

На верхней панели было сделано 8 круглых отверстий, вокруг каждого нанесена круговая шкала. Шкала крайнего правого отверстия разделена на 12 равных частей, шкала соседнего с ним отверстия – на 20 частей, а шкалы остальных частей отверстий имели десятичное деление.

Такая градуировка использовалась по следующей причине. Паскаль создавал свою машину в помощь отцу – сборщику налогов. Следовательно, за основу он взял систему счета французской валюты того времени. Основной денежной единицей тогда был ливр, который равнялся 20 су, 1 су состоял из 12 денье.

В отверстиях располагались зубчатые колеса. Число зубьев каждого колеса равнялось числу делений шкалы соответствующего отверстия. Так, у крайнего правого колеса было 12 зубьев, у соседнего – 20, у остальных – по 10.

Один из зубцов у каждой шестерни был немного удлинен и задевал соседнее колесо. Таким образом, полному повороту одного колеса соответствовал небольшой ($1/20$ или $1/10$) поворот соседнего. Один поворот колеса соответствовал одной операции сложения (рис. 26).

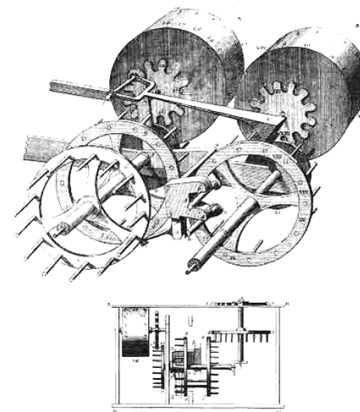


Рис. 26. «Паскалина».
Механизм передачи десятков

На боковых отверстиях барабана были нанесены цифры от 0 до 9, которые были видны в прямоугольных окнах крышки. В этих окнах выводился результат арифметических операций. На этой машине можно было складывать и вычитать. Однако операция вычитания производилось очень громоздко.

Отец и сын вложили в создание своего устройства большие деньги. Однако против счетного устройства Паскаля выступили клерки, которые боялись потерять из-за него работу, а также работодатели, считавшие, что лучше нанять дешевых счетоводов, чем покупать новую машину. Юный конструктор записывает, не зная еще, что мысль его навека обгоняет свое время: «Вычислительная машина выполняет действия, более приближающиеся к мысли, чем все то, что делают животные».

Машина приносит Б. Паскалю популярность. Оценить его формулы и теоремы могут лишь считанные люди, а то, что машина считает сама, мог оценить любой человек. Машина была выставлена в Люксембургском саду на всеобщее обозрение, о ней писали стихи, ей приписывали фантастические возможности. Блез Паскаль становится знаменитым человеком.

В полученной Б. Паскалем в 1649 г. за изобретение машины королевской привилегии говорится: «Главное изобретение и существенное достижение состоит в том, что каждое колесо или стержень некоторого разряда, совершая движение на десять арифметических цифр, заставляет двигаться следующую только на одну цифру».

Основные идеи Паскаля:

1. Представление чисел углом поворота счетных колес: каждому числу от 0 до 9 соответствовал свой угол.

2. Идея автоматического переноса десятков. Здесь Паскаль столкнулся с определенной трудностью: изобретенный им механизм переноса десятков работал при вращении счетных колес только в одном направлении, а это не позволяло производить вычитание

вращением колес в противоположную сторону. Простой и остроумный выход из этого положения, найденный Паскалем, был настолько удачен, что используется в современных ЭВМ. Паскаль заменил вычитание сложением с дополнением вычитаемого. Для 8-разрядной машины Паскаля, работавшей в десятичной системе, дополнением числа A будет число $(100\,000\,000 - A)$, поэтому операция вычитания $B - A$ может быть заменена сложением:

$$B + (100000000 - A) = 100000000 + (B - A).$$

3. Принцип связанных колес явился основой, на которой строилось большинство вычислительных устройств на протяжении следующих трех столетий.

Основной недостаток «Паскалины» заключался в неудобстве выполнения на ней всех операций, кроме простого сложения.

Б. Паскаль умер в возрасте 39 лет. Несмотря на столь короткую жизнь, он вошел в историю как выдающийся математик, физик, писатель и философ. В его честь назван один из самых распространенных современных языков программирования.

Хотя арифмометр Б. Паскаля представлял собой суммирующую машину, построенную по тем же принципам, что и забытая машина В. Шиккарда, труды Б. Паскаля оказали заметное влияние на весь дальнейший ход развития вычислительной техники. Не избежал этого влияния и Г. Лейбниц – создатель одного из основных разделов современной высшей математики – дифференциального исчисления.

2.4. Счетная машина Г. В. Лейбница



Г. В. Лейбниц

Немецкий философ, математик, физик Готфрид Вильгейм Лейбниц (1646–1716) в 1673 г. создал «ступенчатый вычислитель» – счетную машину, позволяющую складывать, вычитать, умножать, делить, извлекать квадратные корни. Машина работала с 12-разрядными числами. К зубчатым колесам Г. Лейбниц добавил ступенчатый валик, позволяющий выполнять умножение и деление.

В письме к Т. Бернету Г. Лейбниц писал: «Мне посчастливилось построить такую машину, которая бесконечно отличается от машины Паскаля, так как дает возможность совершать умножение и деление над огромными числами мгновенно, притом не прибегая к

последовательному сложению и вычитанию». О машине Г. Лейбница было известно в большинстве стран Европы.

В основе множительного устройства этой машины лежит, как теперь его называют, ступенчатый валик Лейбница (рис. 27), надолго определивший принципы построения счетных машин.

Он представляет собой цилиндр с зубцами разной длины, которые взаимодействуют со счетным колесом. Передвигая колесо вдоль валика, его вводят в зацепление с необходимым числом зубцов и обеспечивают установку определенной цифры.

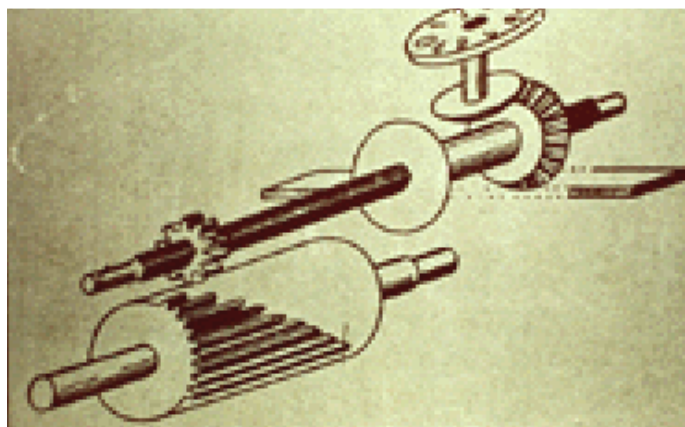


Рис. 27. Ступенчатый валик Г. Лейбница

В ЭВМ, появившихся более двух веков спустя, устройство, выполняющее арифметические операции (те же самые, что и «арифметический прибор» Г. Лейбница), получило название арифметического. Позднее, по мере добавления ряда логических действий, его стали называть арифметико-логическим (АЛУ). Оно стало основным устройством современных компьютеров (рис. 28).



Рис. 28. Арифмометр Г. Лейбница (реконструкция)

Механизм ввода слагаемых размещен спереди на подвижной каретке, его ступенчатые валики вращаются правой рукояткой. Суммирующий механизм расположен сзади, сдвиг каретки производится поворотом левой рукоятки

Интересно, что один из экземпляров своей машины Г. Лейбниц собирался подарить русскому царю Петру I, находившемуся в то время за границей. Однако в последний момент в машине обнаружились неполадки, ее отдали в починку, ремонт затянулся, и русский царь уехал без машины.

С некоторыми усовершенствованиями эти машины (а названы они были арифмометрами), использовались до недавнего времени.

2.5. Арифмометр К. Томаса

Впервые «серийное производство» арифмометров наладил уроженец Эльзаса Карл Ксавье Томас. Сконструированный им в 1818 г. арифмометр выпускался с различными усовершенствованиями в течение 100 лет по 300–400 экземпляров в год, что по тем масштабам вполне считалось массовым производством. Арифмометры обладали относительно неплохой скоростью вычислений. Они перемножали два восьмизначных числа за 18 с. При умножении использовался принцип Лейбница. Это была самая надежная машина в те времена. Арифмометр также поставил мировой рекорд по продолжительности продаж: последняя модель была продана в начале XX в.

2.6. Арифмометр В. Однера

Совершенство и простота конструкции арифмометра К. Томаса завоевали ему всеобщее признание. Казалось, нельзя создать более совершенный прибор. Однако в 1890 г. Вильгорт Теофилович Однер, петербургский изобретатель, записал в своем дневнике: «После 15 лет труда и постоянных улучшений мне удалось устроить аппарат, превосходящий значительно изобретенные моими предшественниками».

Попытка применить в счетных машинах колеса с переменным числом зубцов была впервые предпринята еще итальянцем Джованни Пеленом в 1709 г. Однако создать на этой базе надежную простую конструкцию никому в течение 165 лет не удавалось.

Только в 1874 г. инженер Экспедиции заготовления государственных бумаг в Петербурге В. Т. Однер предложил надежную и простую конструкцию такого колеса – знаменитое «колесо Однера». Это колесо стало основным узлом многих арифмометров. В нашей стране арифмометры В. Однера выпускались вплоть до 60-х гг. прошлого века.



В. Т. Однер

Арифмометр В. Однера (рис. 29) был построен на новых принципах. Главным его элементом является колесо Однера – зубчатка с переменным числом зубцов. Оно оказалось настолько совершенным, что не претерпело принципиальных изменений до наших дней. Колесо Однера имеет девять выдвижных спиц. Число выдвинутых спиц определяется углом поворота установочного рычажка до соответствующей цифры на шкале.

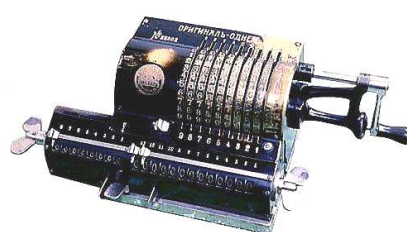
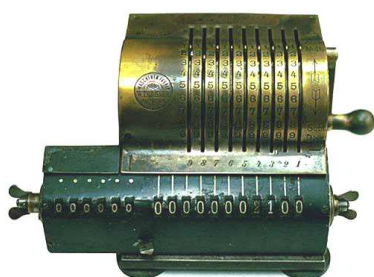


Рис. 29. Арифмометры начала XX в.

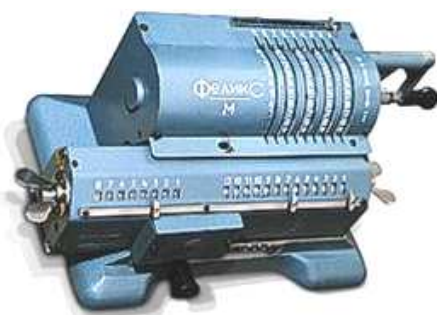


Рис. 30. Арифмометры «Феликс»

В 1899 г. В. Однер организовал большое предприятие в Петербурге на Васильевском острове в Тараканьевском переулке, где был расположен завод В. Однера по производству арифмометров.

После эмиграции В. Однера в Швецию в 1917 г. арифмометры его конструкции продолжали выпускать на заводе им. Дзержинского под маркой «Феликс». В 1969 г. их было произведено 300 000 штук (рис. 30).

Так зародилась новая в России отрасль промышленности – производство вычислительных машин. С тех пор вычислительная техника являлась одной из важнейших отраслей отечественного приборостроения.

Линия арифмометров перешла затем в линию клавишных вычислительных машин (рис. 31).



Рис. 31. Клавишные арифмометры

Усовершенствование механического арифмометра продолжалось вплоть до 70-х гг. XX в. Были разработаны многочисленные конструкции с ручным и электрическим приводом. С заменой механических счетных устройств электронными линия механических арифмометров перешла в линию электронных калькуляторов, а затем слилась с линией персональных ЭВМ.

2.7. Машина П. Чебышева

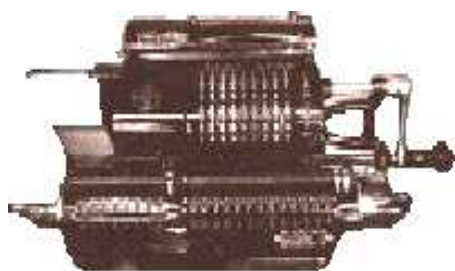


Рис. 32. Арифмометр
П. Л. Чебышева

Среди многих вычислительных устройств XIX в. нельзя не отметить наиболее оригинальную конструкцию арифмометра (рис. 32), построенного великим русским математиком П. Чебышевым. В ее основу был положен изобретенный П. Чебышевым принцип «непрерывной передачи десятков».

Суть этого принципа в том, что шестеренка единиц, делая полный оборот, поворачивает шестеренку десятков на $1/10$ оборота, а шестеренку сотен – на $1/100$ и т.д. Этим обеспечивается плавное изменение угла поворота всех вступающих во взаимодействие колес.

Этот принцип получил настоящее признание гораздо позже, лишь с применением электропривода. При дискретной (прерывистой) передаче десятков неизбежно появлялись толчки, приводящие к

разбалансированию всего механизма. При непрерывной передаче ход машины плавный, что позволяет без опасения поломок значительно увеличить скорость работы механических вычислительных устройств. П. Чебышевым был предложен эпициклический механизм с плавным переносом. Впоследствии этот механизм был использован американской фирмой «Мерчент» в серийных вычислительных машинах, выпускавшихся до середины XX столетия.

2.8. Новые идеи

Следующая ступень в развитии вычислительных устройств как будто не имела ничего общего с вычислительными машинами, по крайней мере, вначале.

На протяжении XVIII в. появились новые, более совершенные модели вычислительных устройств, но принцип механического управления вычислительными операциями оставался тем же. Идея программирования вычислительных операций пришла из часовой промышленности. Старинные монастырские башенные часы были настроены так, чтобы в заданное время включать механизм, связанный с системой колоколов. Такое программирование было жестким – одна и та же операция выполнялась в одно и то же время.

Впервые автоматизированная обработка информации появилась приблизительно в 1800 г., когда Джеквард Лум начал производить раскрой ткани по образцам, представленным перфокартами. Позже аналогичная технология использовалась в механических пианино.

2.8.1. Идея гибкого программного управления – перфокарты Ж. Жаккара

Идея *гибкого* программирования механических устройств с помощью перфокарты впервые была реализована в ткацком станке Ж. Жаккара. После этого оставался только один шаг до программного управления вычислительными операциями.

Французский ткач и механик Жозеф Жаккар создал первый образец машины, управляемой введенной в нее информацией. В 1802 г. он построил машину, которая облегчила процесс производства тканей со сложным узором (рис. 33).



Рис. 33. Ткацкий станок Жаккара (реконструкция)

При изготовлении такой ткани нужно поднять или опустить каждую из ряда нитей. После этого ткацкий станок протягивает между поднятыми и опущенными нитями другую нить. Затем каждая из нитей опускается или поднимается в определенном порядке, и станок снова пропускает через них нить. Этот процесс многократно повторяется до тех пор, пока не будет получена нужная длина ткани с узором.

Для задания узора на ткани Жаккар использовал ряды отверстий на картах (рис. 34). Если применялось десять нитей, то в каждом ряду карты предусматривалось место для десяти отверстий.



Рис. 34. Перфокарта Жаккара

Карта закреплялась на станке в устройстве, которое могло обнаруживать отверстия на карте. Это устройство с помощью щупов проверяло каждый ряд отверстий на карте. Информация на карте управляла станком. Переходя к новому рисунку, оператор просто заменял одну колоду перфокарт другой.



Рис. 35. Перфокарты, соединенные в виде ленты, в станке Жаккара

Станок Жаккара вызвал настоящую революцию в ткацком производстве, а принципы, положенные в его основу, используются по сей день. Однако самую важную роль перфокартам суждено было сыграть в программировании компьютеров.

Создание ткацкого станка, управляемого картами, с пробитыми на них отверстиями и соединенными друг с другом в виде ленты (рис. 35), относится к одному из ключевых открытий, обусловивших дальнейшее развитие вычислительной техники.

Так появилось первое примитивное устройство для запоминания и ввода информации.

2.8.2. Разработка Г. Прони технологической схемы вычислений

В 1795 г. французский математик Гаспар Прони (1755–1839), которому французское правительство поручило выполнение работ, связанных с переходом на метрическую систему мер, впервые в мире разработал технологическую схему вычислений.



Гаспар Прони

Эта схема содержала три этапа и предполагала разделение труда математиков на три составляющие.

1. *Определение (или разработка) методов численных вычислений.* Эти методы позволяли свести вычисления к четырем арифметическим операциям – сложение, вычитание, умножение, деление. На этом этапе работала первая группа из нескольких высококвалифицированных математиков.

2. *Задание последовательности арифметических действий и определение исходных данных,* необходимых при их выполнении («программирование»). Эти работы выполняла вторая, более многочисленная по составу, группа математиков.

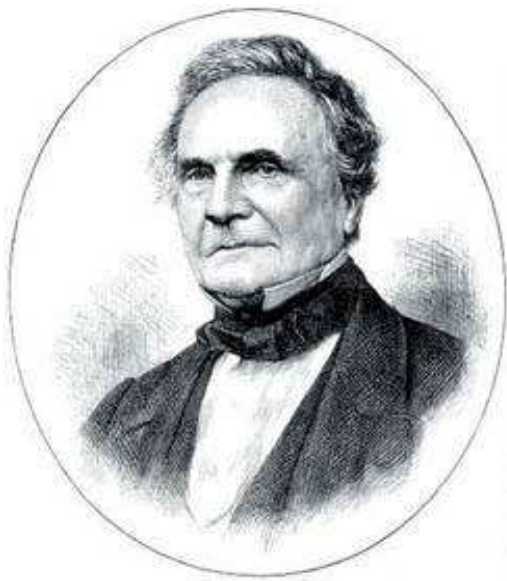
3. *Выполнение составленной «программы»,* состоящей из последовательности арифметических действий. На этом этапе не было необходимости привлекать специалистов высокой квалификации. Эта наиболее трудоемкая часть работы поручалась третьей и самой многочисленной группе вычислителей.

Такое разделение труда позволило существенно ускорить получение результатов и повысить их надежность. Но главное состояло в том, что этим был дан импульс дальнейшему процессу автоматизации самой трудоемкой (но и самой простой!) третьей части вычислений – переходу к созданию цифровых вычислительных машин с программным управлением последовательностью арифметических операций.

2.9. Машины Ч. Бэббиджа

Эти два новшества – программное (с помощью перфокарт) управление и технология вычислений при ручном счете – явились базой для работ профессора Кембриджского университета Ч. Бэббиджа.

Из всех изобретателей прошлых столетий, внесших тот или иной вклад в развитие вычислительной техники, он ближе всего подошел к созданию компьютера в современном его понимании.



Чарльз Бэббидж
(1791–1871)

Чарльз Бэббидж родился в 1791 г. в графстве Девоншир в богатой семье. Он прославился как остротой ума, так и своими чудачествами. В течение 13 лет этот эксцентричный гений заведовал кафедрой математики Кембриджского университета (когда-то этот пост занимал И. Ньютон), но не прожил при университете ни дня и не прочитал там ни одной лекции.

Круг увлечений Бэббиджа был очень широк. Он занимался физикой, химией, астрофизикой, геофизикой, лингвистикой, проблемами экономики; разрабатывал конструкции подводных судов и маяков. Перечисление всех новаций, предложенных ученым,

получится довольно длинным. В качестве примера можно упомянуть, что именно Бэббиджу принадлежат такие идеи, как:

- установка в поездах «черных ящиков» для регистрации обстоятельств аварии;
- переход к использованию энергии морских приливов после исчерпания угольных ресурсов страны;
- изучение погодных условий прошлых лет по виду годичных колец на срезе дерева;
- разработка конструкции подводных судов и маяков;
- изобретение коронографа для изучения солнечной короны;
- изобретение игрового автомата, с которым можно было сыграть в «крестики-нолики».

Его выдающиеся научные результаты неоднократно отмечались академиями наук Европы. Кроме того, Ч. Бэббидж состоял членом-корреспондентом Петербургской Академии наук.

Помимо серьезных занятий математикой, ученый всю жизнь страстно увлекался разного рода ключами-замками, шифрами и механическими куклами.

Возможно, во многом благодаря именно этому пристрастию Ч. Бэббидж и вошел в историю как конструктор первого полноценного компьютера. Разного рода механические счетные машины были созданы еще в XVII–XVIII вв., но эти устройства были весьма примитивны и ненадежны. А Бэббидж как один из основателей

Королевского астрономического общества ощущал острую потребность в создании мощного механического вычислителя, способного автоматически выполнять длинные, крайне утомительные, но очень важные астрономические расчеты. Математические таблицы использовались в самых разнообразных областях, но при навигации в открытом море многочисленные ошибки в таблицах, рассчитанных вручную, стоили людям жизни.

Основных источников ошибок было три:

- человеческие ошибки в вычислениях;
- ошибки переписчиков при подготовке таблиц к печати;
- ошибки наборщиков.

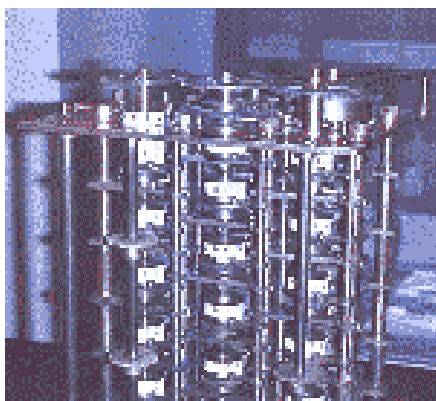
В начале 1820-х гг. Чарльз Бэббидж написал специальную работу, в которой показал, что полная автоматизация процесса создания математических таблиц гарантированно обеспечит точность данных, поскольку исключит все три источника порождения ошибок. Фактически вся остальная жизнь ученого была связана с воплощением этой идеи в жизнь.

Наивысшим достижением Чарльза Бэббиджа была разработка принципов, положенных в основу современного компьютера, за целое столетие до того, как появилась техническая возможность их реализации. Им были созданы две машины – **разностная** (1822) и **аналитическая** (1830).

2.9.1. Разностная машина (Difference Engine)

Первое вычислительное устройство, разработанное Бэббиджем, получило название «разностная машина», поскольку работа модели была основана на хорошо разработанном методе конечных разностей. Благодаря этому методу все сложно реализуемые в механике операции умножения и деления сводились к цепочкам простых сложений известных разностей чисел.

Разностная машина (рис. 36, 37) предназначалась для решения дифференциальных уравнений и табулирования многочленов. С современной точки зрения она являлась специализированной вычислительной машиной с фиксированной (жесткой) программой.



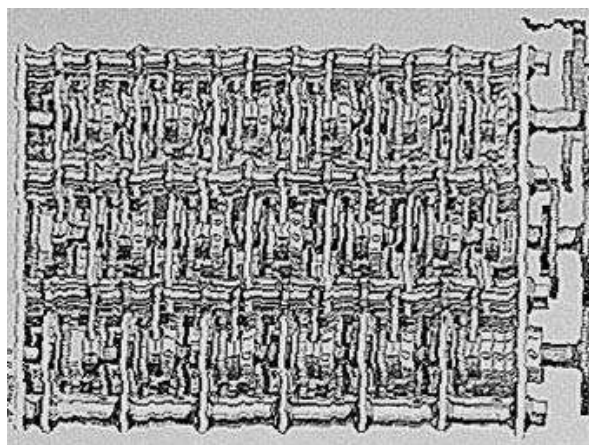


Рис. 36. Рабочая часть
разностной машины

Рис. 37. Чертеж секции разностной
машины Бэббиджа

Составные части разностной машины:

1. «Память» – несколько регистров для хранения чисел.
2. Сетчик числа операций со звонком – при выполнении заданного числа шагов вычислений раздавался звонок.
3. Печатающее устройство – результаты выводились на печать, причем по времени эта операция совмещалась с вычислениями на следующем шаге.

Движение механических частей машины должен был осуществлять паровой двигатель. Но вычисления были полностью автоматизированы (вплоть до автоматической печати результатов).

Работоспособный прототип, подтверждающий концепцию, благодаря правительственному финансированию был построен весьма быстро. Однако сооружение полноценной машины оказалось делом весьма непростым, поскольку требовалось огромное количество идентичных деталей, а индустрия в те времена только начинала переходить от ремесленного производства к массовому. Так что попутно Бэббиджу пришлось самому изобретать и машины для штамповки деталей.

2.9.2. Аналитическая машина

К 1834 г., когда «разностная машина № 1» еще не была достроена, Ч. Бэббидж уже задумал принципиально новое устройство – «аналитическую машину», явившуюся, по сути дела, прообразом современных компьютеров (рис. 38).

Это была механическая универсальная цифровая вычислительная машина с программным управлением. К 1840 г. Бэббидж практически полностью завершил разработку «аналитической машины» и тогда же понял, что воплотить ее на практике сразу не удастся из-за технологических проблем.

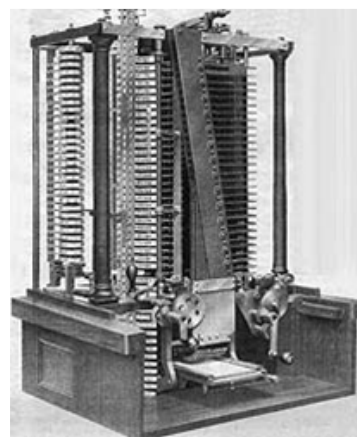


Рис. 38. Аналитическая машина Бэббиджа

По архитектуре аналитическая машина была механическим прототипом современного компьютера. Она содержала следующие устройства (рис. 39):

- 1) «склад» (или мельница) – устройство для хранения цифровой информации (теперь это запоминающее устройство или память);
- 2) «мельница» или «фабрика» – устройство, выполняющее операции над числами, взятыми на «складе» (ныне это – арифметическое устройство);
- 3) устройство, для которого Бэббидж не придумал названия и которое управляло последовательностью действий машины. Сейчас это устройство называется устройством управления. Следуя терминологии Ч. Бэббиджа, это устройство можно было бы назвать «конторой»;
- 4) устройство ввода информации;
- 5) устройство вывода информации.



Рис. 39. Архитектура аналитической счетной машины с точки зрения Ч. Бэббиджа

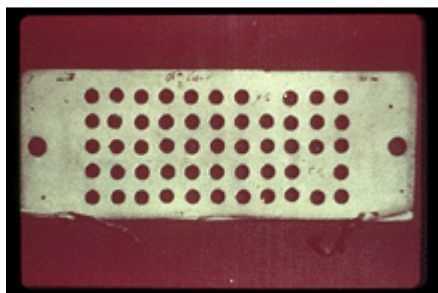


Рис. 40. Перфокарта
Бэббиджа

Бэббидж предусмотрел ввод в машину таблиц значений функций с контролем при вводе значений аргумента. Выходная информация могла печататься или пробиваться на перфокартах (рис. 40), что давало возможность при необходимости снова вводить ее в машину.

Особенностью аналитической машины стало то, что в ней впервые был реализован принцип разделения информации на команды и данные.

Разработав чрезвычайно развитую конструкцию принтера, Бэббидж стал пионером идеи компьютерного ввода-вывода, поскольку его принтер и пачки перфокарт обеспечивали **полностью автоматический ввод и вывод информации** при работе вычислительного устройства.

По оценке Бэббиджа, его машина могла выполнять 60 сложений в минуту или одно умножение двух 50-значных чисел или деление 100-значного числа на 50-значное.

В 1840 г. Бэббидж предложил окончательный вариант машины. У нее было три устройства ввода с перфокарт, с которых считывались программа и данные, подлежащие обработке. Объем памяти составлял 50 машинных слов по 40 цифр (разрядов) каждое. Компьютер имел два регистра-аккумулятора – «быструю» память, в которой накапливался результат арифметических действий.

2.9.3. Основные идеи Ч. Бэббиджа

1. Принцип программного управления вычислительным процессом.

2. Использование перфокарт для управления работой вычислительной машины:

- для ввода данных,
- для обмена и передачи чисел в самой машине.

3. Введение **команды (операции) условного перехода**. Благодаря этой команде машина получила способность выбирать в каждый момент времени путь вычислений в зависимости от значения признака, полученного в результате предыдущих расчетов.

4. Принцип разделения информации на команды и данные.

Идеи Ч. Бэббиджа, относящиеся к структуре полностью автоматизированной счетной машины и принципов ее работы, удалось реализовать лишь в середине XX столетия в современных компьютерах. Основным тормозом был механический принцип счета, господствовавший в счетной технике более 300 лет.

У Бэббиджа было ясное представление о сферах применения его машины. Он думал вычислить математические и морские таблицы, выверить таблицы логарифмов, проверить данные астрономических наблюдений, вычислить среднюю продолжительность жизни человека в Англии и решить многие другие сложные задачи.

Об изобретении Бэббиджа с восторгом отзывались передовые люди его времени. Знаменитый писатель Эдгар По писал: «Что же мы должны думать о вычислительной машине Бэббиджа? Что мы должны думать о машине из дерева и металла, которая может не только вычислить астрономические и навигационные таблицы любой заданной протяженности, но и сделать точность своих действий математически достоверной благодаря своей способности исправлять свои возможные ошибки? Что мы должны думать о машине, которая может выполнять не только все это, но и печатать свои сложные результаты, когда они получены, без малейшего вмешательства интеллекта человека?».

К сожалению, Ч. Бэббиджу не довелось увидеть воплощения большинства из своих идей. У разностной машины были сомнительные шансы на успех, а аналитическая машина выглядела нереалистичной. Ее просто невозможно было построить и запустить в работу. В своем окончательном виде машина должна была быть не меньше железнодорожного локомотива. Ее внутренняя конструкция представляла собой нагромождение стальных, медных и деревянных деталей, часовых механизмов, приводимых в действие паровым двигателем. Любая нестабильность какой-нибудь мелкой детали приводила бы к стократно усиленным нарушениям в других частях. Только зубчатых колес для нее понадобилось бы более пятидесяти тысяч.

Таким образом, машину построить не удалось. Современники, не видя конкретного результата, разочаровались в работе ученого. Он опередил свое время. И сам понимал это: «Вероятно, пройдет половина столетия, прежде чем кто-нибудь возьмется за такую малообещающую задачу без тех указаний, которые я оставил после себя. И если некто, не предостереженный моим примером, возьмет на себя эту задачу и достигнет цели в реальном конструировании машины, воплощающей в себя всю исполнительную часть

математического анализа с помощью простых механических или других средств, я не побоюсь поплатиться своей репутацией в его пользу, так как только он один полностью сможет понять характер моих усилий и ценность их результатов».

После смерти Ч. Бэббиджа Комитет Британской научной ассоциации, куда входили крупные ученые, рассмотрел вопрос, что делать с неоконченной аналитической машиной и для чего она может быть рекомендована. К чести Комитета был сделан такой вывод: «...Возможности аналитической машины простираются так далеко, что их можно сравнить только с пределами человеческих возможностей... Успешная реализация машины может означать эпоху в истории вычислений, равную введению логарифмов».

Разностной машине повезло больше. Хотя сам Ч. Бэббидж больше не возвращался к ней, шведский издатель, изобретатель и переводчик Пер Георг Шойц, прочитав статью об этом устройстве, в 1854 г. построил его слегка видоизмененный вариант, воспользовавшись ценными советами Бэббиджа. А годом позже разностная машина П. Шойца была удостоена золотой медали на Всемирной выставке в Париже.

В 1906 г. сын Ч. Бэббиджа построил несколько мини-копий разностной машины Бэббиджа и разослал их по всему миру, чтобы увековечить эту машину. В октябре 1995 г. одна из тех копий была продана на лондонском аукционе австралийскому музею электричества в Сиднее за 200 000 долл.

Вплоть до начала 1990-х гг. общепринятое мнение было таково, что идеи Чарльза Бэббиджа слишком опережали технические возможности его времени. Поэтому спроектированные вычислители в принципе невозможно было построить в ту эпоху. И лишь в 1991 г., к двухсотлетию со дня рождения ученого, сотрудники лондонского Музея науки воссоздали по его чертежам разностную машину (рис. 41). 29 ноября 1991 г. она впервые произвела серьезные вычисления и с тех пор функционирует без ошибок. Машина весит 3 т, а ее стоимость почти 500 000 долл. В 2000 г. был воссоздан еще и 3,5-тонный принтер Бэббиджа.

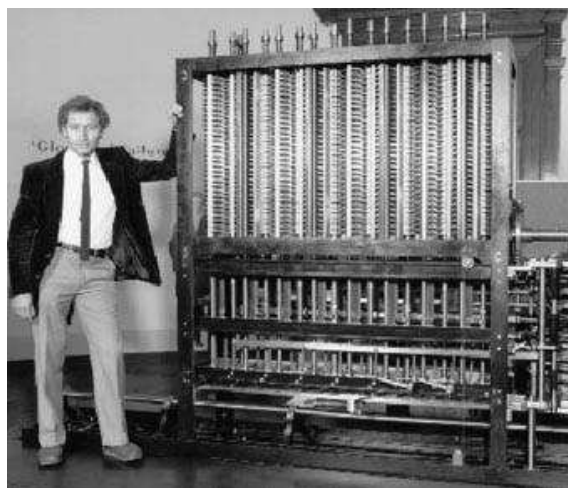


Рис. 41. Современная работающая копия разностной машины Ч. Бэббиджа

Оба устройства, созданные по технологиям середины XIX в., отлично работают и наглядно демонстрируют, что история компьютеров вполне могла начаться на сто лет раньше.

2.10. Первая программистка Ада Лавлейс

Исследователи работ Чарльза Бэббиджа непременно отмечают особую роль в разработке проекта аналитической машины графини Ады Августы Лавлейс. Именно ей принадлежала идея использования перфорированных карт для программирования вычислительных операций.

Ада Августа Байрон (1815–1852), в замужестве графиня Лавлейс (Ada Augusta Lovelace), была дочерью поэта Джорджа Байрона. Она с детства увлекалась математикой и астрометрией. Астрометрия – расчет положений небесных тел – одно из наиболее популярных приложений математики XIX в. Видимо, это увлечение и стало причиной возникновения интереса к программированию. Наслышанная о создаваемой разностной машине, она с группой студентов посетила лабораторию Ч. Бэббиджа. С этого визита Ада увлеклась вычислительными машинами. Сам изобретатель отметил



Ада Августа Лавлейс

незаурядную девушку, которая не только понимала, как работает машина, но и была в состоянии оценить перспективы ее развития.

После того, как итальянский инженер Л. Менабри составил подробный инструктаж по конструкции аналитической машины, Ада перевела его на английский язык. Она же нашла некоторые ошибки в рассуждениях Ч. Бэббиджа, проработала комментарии к тексту. В частности, использовать двоичное представление чисел в памяти предложила именно Ада.

Ей же принадлежит изобретение циклов и подпрограмм – Ада поняла, что при использовании условных переходов можно будет использовать один и тот же набор перфокарт для повторяющихся последовательностей команд.

Проработке аналитической машины Ада уделяла много времени, называя это устройство «своим первенцем». Муж Ады ценил и поощрял ее занятия математикой.

«Можно с полным основанием сказать, что аналитическая машина точно так же плетет алгебраические узоры, как ткацкий станок Жаккара воспроизводит цветы и листья», – писала графиня Лавлейс. Она одна из немногих понимала, как работает машина и каковы потенциальные области ее применения.

Говоря об аналитической машине, Бэббидж отмечал, что графиня «по-видимому, понимает ее лучше меня, а уж объясняет ее устройство во много-много раз лучше».

Ада приложила немало усилий, чтобы воплотить изобретение Бэббиджа в реальном аппарате. Нехватка денег преследовала его постоянно. Астрономическое общество в свое время предоставило ему грант в 1,5 тыс. фунтов на построение разностной машины, но в действительности требовалась сумма, в пятьдесят раз большая. Не помогли ни дополнительные правительственные субсидии, ни сотысячное наследство. Аналитическая машина требовала еще больших расходов. Чтобы добыть денег на закупку необходимых материалов (стали и латуни, потребность в которых измерялась тоннами), а также на изготовление деталей, они решили сыграть на скачках. Методика игры была их собственной и основывалась на законах вероятности. Первое время казалось, что новая система работает. Но дело кончилось плохо, и, чтобы заплатить долги, были проданы фамильные драгоценности семейства Лавлейс.

Аналитическая машина в XIX в. была технологически невыполнима, и Ада Лавлейс умерла, так и не попробовав запустить свои программы.

Аду Лавлейс называют первым программистом. В ее честь назван язык программирования АДА.

Краткие итоги

В течение почти 500 лет цифровая вычислительная техника сводилась к простейшим устройствам для выполнения арифметических операций над числами. Основой практически всех изобретенных за пять столетий устройств было зубчатое колесо, рассчитанное на фиксацию 10 цифр десятичной системы счисления.

Первые изобретения этого периода – машины Леонардо да Винчи, В. Шиккарда. О них ничего не было известно современникам, поэтому первой вычислительной машиной считается суммирующая машина Б. Паскаля – «Паскалина», выполняющая операции сложения и вычитания. Сложную в реализации операцию вычитания Паскаль заменил сложением с дополнением вычитаемого. Этот подход используется в современных ЭВМ.

Счетная машина Г. В. Лейбница позволяла складывать, вычитать, умножать, делить, извлекать квадратные корни. В основе множительного устройства этой машины лежит ступенчатый валик Лейбница, надолго определивший принципы построения счетных машин. В ЭВМ, появившихся более двух веков спустя, устройство, выполняющее арифметические операции (те же самые, что и «арифметический прибор» Г. Лейбница), получило название арифметического. Позднее, по мере добавления ряда логических действий, его стали называть арифметико-логическим (АЛУ). Оно стало основным устройством современных компьютеров.

Арифмометры К. Томаса, В. Однера, П. Л. Чебышева с некоторыми усовершенствованиями использовались до недавнего времени 80-х гг. прошлого века.

Самыми значительными изобретениями этого периода, несомненно, являются разностная и аналитическая машины. Ч. Бэббидж разработал основные принципы построения вычислительных машин, которые были реализованы в современных ЭВМ. Это принцип программного управления вычислительным процессом, использование перфокарт для управления работой вычислительной машины, введение команды условного перехода, принцип разделения информации на команды и данные.

К сожалению, эти машины не могли быть построены по технологиям XIX в.

Линия арифмометров перешла затем в линию клавишных вычислительных машин. Усовершенствование механического арифмометра продолжалось до 70-х гг. XX в. Были разработаны многочисленные конструкции с ручным и электрическим приводом. С заменой механических счетных устройств электронными линия механических арифмометров перешла в линию электронных калькуляторов, а затем слилась с линией персональных ЭВМ.

Контрольные вопросы

1. Кто был автором эскиза механического тринадцатиразрядного суммирующего счетного устройства?
2. Кто в 1642 г. изобрел первую вычислительную машину?
3. Какая из машин для вычислений так и не была реализована ее изобретателем на практике?
4. К какому классу машин относится машина В. Однера?
5. Для чего была предназначена разностная машина Ч. Бэббиджа?
6. Кто в 1795 г. разработал технологическую схему вычислений?
7. В честь кого был назван язык программирования АДА?
8. Кто в 1614 г. изобрел логарифмы?
9. Кто был автором проекта разностной и аналитической машин?
10. На чем кодировались программы для машин Ч. Бэббиджа?

3. Электромеханический период

В истории вычислительной техники этот период явился наименее продолжительным – с 1888 до 1945 г.

Вспомним, с какими объектами работали первые механические предшественники современного электронного компьютера. Числа представлялись:

- либо в виде линейных перемещений цепных и реечных механизмов;
- либо в виде угловых перемещений зубчатых и рычажных механизмов.

И в том и в другом случае это были перемещения, что в значительной степени сказывалось на габаритах устройств и на скорости их работы. Только переход от **регистрации перемещений** к **регистрации сигналов** позволил значительно снизить габариты и повысить быстродействие. Однако на пути к этому достижению потребовалось ввести еще несколько важных принципов и понятий. К ним относятся: двоичная система счисления и математическая логика Джорджа Буля.

Двоичная система счисления. Идеи Ч. Бэббиджа, относящиеся к структуре полностью автоматизированной счетной машины и принципов ее работы, удалось реализовать лишь в середине XX столетия в современных компьютерах. Основным тормозом были механический принцип счета, господствовавший в счетной технике более 300 лет, и десятичная система счисления.

Очевидно, что такое положение не могло сохраняться долго. Успехи электроники и электротехники привели к созданию высокоскоростных счетных элементов. Но с переходом на электрические схемы счета появился новый фактор – недостаточная устойчивость десятипозиционных счетных элементов. Если зубчатое колесо нужно было абсолютно надежно фиксировать в каждом из его 10 рабочих положений, то в электрических элементах потребовалась фиксация десяти очень близких друг другу значений тока или напряжения в цепи. Это было непросто, так как из-за случайных колебаний напряжения различить эти значения не всегда удавалось.

Оказалось, что если уменьшать число самих состояний, то возрастает устойчивость каждого из них. Идеальным является одно состояние – оно абсолютно устойчиво, хотя абсолютная устойчивость не имеет смысла, так как такой элемент ничего не сможет сосчитать. Поэтому наиболее устойчивым элементом, с помощью которого

можно вести счет, является элемент с двумя рабочими состояниями – двухпозиционное устройство.

Самая распространенная система счисления является десятичной, так как у нас десять пальцев на обеих руках. Таким образом, десятичность используемой системы счисления связана со строением нашего организма. Примерно так же связана с «физиологией» электрических элементов и двоичная система счисления.

Некоторые европейские мыслители эпохи Просвещения проявляли большой интерес к простой и изящной двоичной системе счисления. Постепенно эта система проникала из одной научной дисциплины в другую, из логики и философии в математику, а затем и в вычислительную технику.

Двоичная система счисления Г. Лейбница. Исследованием свойств двоичной системы счисления занимался И. Лейбниц. Он считал, что на базе двоичной системы можно создать универсальный язык для объяснения явлений мира и использования во всех науках, в том числе в философии.

В 1666 г. Г. Лейбниц написал работу «Искусство составления комбинаций». В этой работе были заложены основы общего метода, который позволяет свести мысль человека – любого вида и на любую тему – к совершенно точным формальным высказываниям. Таким образом, открывалась возможность перевести логику (или, как называл ее Г. Лейбниц, законы мышления) «из словесного царства, полного неопределенностей, в царство математики», где отношения между объектами или высказываниями определяются совершенно точно. Кроме того, Г. Лейбниц призвал к принятию «общего языка, бесконечно отличающегося от всех существовавших до сих пор, поскольку символы и даже слова его должны направлять наш разум, а ошибки, кроме тех, что заложены в исходных фактах, будут просто ошибками вычислений. Построить или изобрести такой язык или такие понятия очень трудно, но зато он будет легко понятен без всяких словарей».

Современники Г. Лейбница оставили его работу без внимания, да и сам Г. Лейбниц не стал развивать идею нового языка. Однако десятилетие спустя он занялся исследованием строгих математических законов применительно к двоичной системе счисления. Сохранилось изображение медали (рис. 42), нарисованное Г. Лейбницем в 1697 г., поясняющее соотношение между двоичной и десятичной системами счисления.

Однако при всей своей гениальности Г. Лейбниц так и не смог найти полезного применения полученным результатам. Изобретенный им арифмометр предназначался для работы с десятичными числами, и Г. Лейбниц не стал переделывать его под двоичные числа. В дальнейшем Г. Лейбницу приходила мысль использовать двоичные числа в вычислительном устройстве, но он даже не пытался построить такую машину.



Рис. 42. Медаль Г. В. Лейбница

Математическая логика Джорджа Буля. Более чем через сто лет после смерти Г. Лейбница английский математик-самоучка Джордж Буль (1815–1864) (отец писательницы Э. Л. Войнич) занялся разработкой универсального языка, о котором упоминал в своих сочинениях Г. В. Лейбниц.



Джордж Буль

В 1847 г. Дж. Буль написал важную статью на тему «Математический анализ логики», а в 1854 г. развил свои идеи в работе под названием «Исследование законов мышления». Эти основополагающие труды Дж. Буля внесли поистине революционные изменения в логику как науку.

Дж. Буль изобрел своеобразную алгебру, впоследствии названную его именем (*Булева алгебра*). Это была система обозначений и правил, применяемая к всевозможным объектам, от чисел и букв до предложений. Пользуясь этой системой, можно было закодировать высказывания (т.е. утверждения, истинность или ложность которых требовалось доказать) с помощью символов своего языка, а затем манипулировать ими подобно тому, как в математике манипулируют обычными числами. Каждая величина может принимать одно из двух значений – **ДА/НЕТ, ЛОЖЬ/ИСТИНА**.

Три основные операции булевой алгебры – это **И**, **ИЛИ** и **НЕ**. Хотя система Буля допускает множество других операций, этих трех

уже достаточно для того, чтобы производить сложение, вычитание, умножение и деление, или выполнять такие операции, как сравнение символов и чисел.

Большинство логиков того времени либо игнорировали, либо резко критиковали систему Дж. Буля. Однако ее возможности оказались настолько велики, что она не могла долго оставаться без внимания. Американский логик Чарлз Сандерс Пирс в 1867 г. познакомил с булевой алгеброй американскую научную общественность, изложив суть этой системы в докладе для Американской академии наук и искусств. На протяжении двух последующих десятилетий Ч. Пирс значительно модифицировал и расширил булеву алгебру. Он понял, что бинарная логика Дж. Буля хорошо подходит для описания электрических переключательных схем. Например, ток в цепи может либо протекать, либо отсутствовать, подобно тому, как утверждение может быть либо истинным, либо ложным. Электрический переключатель во многом схож с логическим вентилем – он либо пропускает ток (что соответствует значению «истина»), либо нет. Однако самого Пирса больше интересовала логика, чем электричество. И хотя позже он придумал простую электрическую логическую схему, она не была собрана.

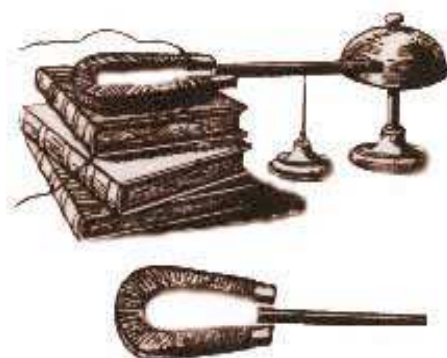


Рис. 43. Первое
электромагнитное реле

Современные ЭВМ по своей структуре очень близки к аналитической машине Бэббиджа, но, в отличие от нее (и всех механических арифмометров), используют совершенно другой принцип реализации вычислений, основанный на двоичной системе счисления.

Двоичный принцип реализуется с помощью электромагнитного реле – элемента, который может находиться в одном из двух возможных состояний и переходить из одного состояния в другое при воздействии внешнего электрического сигнала (рис. 43).

Поскольку оно может находиться в одном из двух рабочих состояний, то это означает лишь «да» или «нет», «истинно» или «ложно».

После изобретения электромагнитного реле вопрос о том, как записать с его помощью всевозможные цифры десятичной системы счисления, не был большой проблемой. Еще в 1658 г. Б. Паскаль доказал, что любое положительное число может быть

основанием системы счисления, а Г. Лейбниц в 1703 г. описал арифметические действия в двоичной системе счисления.

Предпосылки создания электромеханической вычислительной техники:

- 1) необходимость проведения массовых расчетов (в экономике, статистике, управлении и планировании);
- 2) развитие электротехники (электропривод и электромеханическое реле).

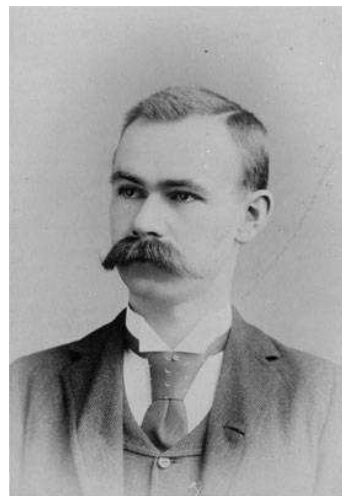
Первый электромеханический счетно-аналитический комплекс был создан Г. Холлеритом в США в 1888 г.

3.1. Табулятор Г. Холлерита

Уже после смерти Ч. Бэббиджа один из принципов, лежащих в основе идеи аналитической машины, – использование перфокарт – нашел воплощение в действующем устройстве. Это был статистический табулятор, построенный американцем Германом Холлеритом для ускорения обработки результатов переписи населения, которая проводилась в США в 1890 г.

Г. Холлерит родился в городе Буффало (штат Нью-Йорк) в семье немецких эмигрантов. Дата рождения – 29 февраля 1860 г. – сулила ему жизнь, насыщенную незаурядными событиями.

В школу он ходил с явной неохотой и имел среди учителей репутацию ребенка одаренного, но дурно воспитанного и ленивого. Ему не давались гуманитарные науки, а также грамматика и каллиграфия. Значительно лучше дела обстояли с естественными и точными науками.



Герман Холлерит

Проблемы с учебой объяснялись тем, что Герман страдал довольно распространенным заболеванием – дисграфией – и испытывал серьезные трудности при необходимости записывать что-либо от руки. Возможно, именно этот дефект и вызвал интерес Германа к машинам и механизмам, эффективно заменяющим ручной труд.

Окончив Колумбийский университет, он поступил на работу в контору по переписи населения в Вашингтоне.

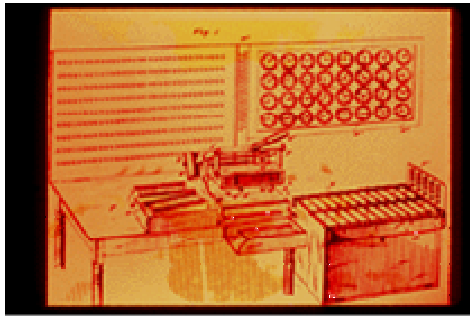


Рис. 44. Рисунок из патента Холлерита 1887 г.

В 1884–1889 гг. Г. Холлерит получил 4 патента на перфокартные машины (рис. 44). Затем добавляются еще 30 патентов.

Сейчас трудно сказать, что навело Холлерита на идею использования перфокарт – станок Жаккара или железнодорожные билеты с перфорацией.

Американские кондукторы в те годы изобрели оригинальный способ борьбы с мошенничеством на железных дорогах и кражей проездных билетов, на которых (в целях экономии средств) не было ни серийных номеров, ни фамилий владельцев. Проверяющий компостером пробивал отверстия в условных местах на билете, помечая таким образом пол, цвет волос и глаз пассажира. В результате получалась своеобразная перфокарта, в какой-то мере позволяющая идентифицировать истинного владельца билета.

У Г. Холлерита возникла идея создания перфокарты, на которую можно было бы наносить в виде отверстий обрабатываемые данные.

Первоначально он хотел применить в качестве носителя информации бумажную ленту с отверстиями – перфоленту (рис. 45). Но ленту приходилось часто перематывать, чтобы отыскать нужные данные. От этого она часто рвалась, а машина плохо работала.

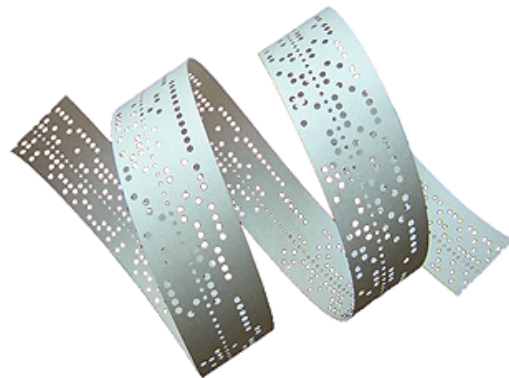


Рис. 45. Перфолента

Кроме того, довольно часто из-за высокой скорости движения ленты информация не успевала считываться.

Вскоре Г. Холлерит собрал табулятор, основными устройствами которого были:

- вычислительный механизм, в котором использовались *реле*;
- перфоратор;
- сортировальная машина.

Карты табулятора Холлерита (рис. 46) были размером в долларовую бумажку (168 × 83 мм). На каждой карте имелось 12 рядов, в каждом из которых можно было пробить по 20 отверстий (т.е. 240 позиций для пробивок).

1	1	3	0	2	4	10	On	5	A	C	E	a	e	e	c		ED	SB	Ch	Sy	U	Sh	HK	Dr	Rm
2	2	4	1	3	E	15	Off	15	D	D	F	b	d	f	b		SY	X	Fp	Cn	R	X	Al	Cg	Kg
3	0	0	0	0	W	20		0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0
A	1	1	1	1	0	25	A	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1
B	2	2	2	2	5	30	B	2	2	2	2	2	2	2	2		2	2	2	2	2	2	2	2	2
C	3	3	3	3	0	35	C	3	3	3	3	3	3	3	3		3	3	3	3	3	3	3	3	3
D	4	4	4	4	1	40	D	4	4	4	4	4	4	4	4		4	4	4	4	4	4	4	4	4
E	5	5	5	5	2	45	E	5	5	5	5	5	5	5	5		5	5	5	5	5	5	5	5	5
F	6	6	6	6	A	50	F	6	6	6	6	6	6	6	6		6	6	6	6	6	6	6	6	6
G	7	7	7	7	B	55	G	7	7	7	7	7	7	7	7		7	7	7	7	7	7	7	7	7
H	8	8	8	8	C	60	H	8	8	8	8	8	8	8	8		8	8	8	8	8	8	8	8	8
I	9	9	9	9	D	65	I	9	9	9	9	9	9	9	9		9	9	9	9	9	9	9	9	9

Рис. 46. Карты табулятора Холлерита

Эти позиции соответствовали таким данным, как возраст, пол, место рождения, количество детей, семейное положение и прочие сведения, включенные в вопросник переписи американского населения. Агенты, проводившие перепись, записывали ответы опрашиваемых в специальные формуляры. Заполненные формуляры отсылались в Вашингтон, где содержащуюся в них информацию переносили на карты путем перфорирования (рис. 47).

Затем перфокарты загружали в специальные устройства, соединенные с табуляционной машиной, где они нанизывались на ряды тонких игл, по одной игле на каждую из 240 перфорируемых позиций на карте.

Когда игла попадала в отверстие, она замыкала контакт в соответствующей электрической цепи машины. Это приводило к тому, что счетчик, состоящий из вращающихся цилиндров, продвигался на одну позицию вперед. Это и есть электромеханический принцип действия.

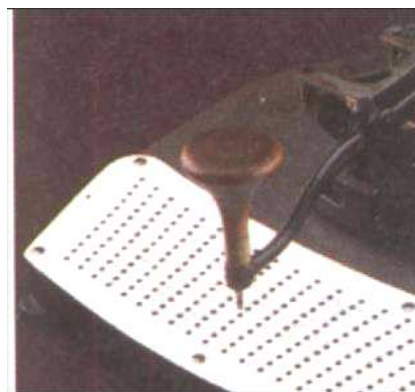


Рис. 47. Пробивка отверстий в перфокарте Холлерита



Рис. 48. Табулятор Холлерита

В табуляторе Холлерита (рис. 48) перфокарты считываются устройством, размещенным в углу стола. С обратной стороны устройства расположена панель с электромеханическими счетчиками.

К 1890 г. Г. Холлерит закончил работу. При испытаниях, проведенных в бюро переписи, статистический табулятор Холлерита оказался лучшим по сравнению с другими системами. С изобретателем был заключен контракт на проведение переписи 1890 г.

Для сравнения: над результатами предыдущей 10 переписи 7 лет работали 500 сотрудников статистической службы. Данные 11 переписи были обработаны 43 сотрудниками на 43 табуляторах Холлерита за 4 недели (!). Помимо скорости новая система давала возможность сравнения статистических данных по самым различным параметрам. Так, например, впервые были получены реальные оперативные данные по детской смертности в различных штатах.

В 1896 г. Г. Холлерит создал компанию «Tabulating Machine Company» (ТМС). К этому времени счетные машины были значительно усовершенствованы: автоматизированы процедуры подачи и сортировки перфокарт. В 1900 г. госдепартамент вновь утвердил систему ТМС в качестве базовой для следующей переписи населения. Хотя за свой патент Г. Холлерит и запросил неслыханную сумму в 1 млн долл., все эти деньги он предполагал использовать для развития производства.

Но некоторые чиновники обвинили Г. Холлерита в стяжательстве, ставящем под угрозу государственные интересы Америки. Было принято решение строить новую государственную систему переписи населения с использованием технологий ТМС, однако в обход патентов Г. Холлерита. Патенты на «новые» машины были зарегистрированы на имя некоего инженера Джеймса Пауерса – одного из сотрудников Национального бюро по переписи населения и бывшего коллегу Г. Холлерита. Сразу после завершения очередной переписи в 1911 г. Д. Пауерс создал собственную компанию Powers Tabulating Machine Company (РТМС) – прямого конкурента ТМС. Новое предприятие вскоре разорилось, но и ТМС не сумела оправиться после потери государственного заказа.

В 1911 г. бизнесмен Чарльз Флинт создал компанию Computer Tabulating Recording Company (CTRC), в которую составной частью вошла и компания Г. Холлерита. Бывшего директора ТМС перевели на должность технического консультанта. К 1919 г. оборот фирмы удвоился и достиг 2 млн долл.

Поскольку машины от CTR успешно продавались не только в США, но и в Европе, Южной Америке, Азии и Австралии, в 1924 г. CTRC была переименована в International Business Machines Corp (IBM).

Именно под этим именем мы сейчас и знаем родоначальника эры персональных компьютеров. На рис. 49 приведены компании CTRC и IBM.



Рис. 49. Эмблемы компаний CTRC и IBM

В 1929 г. Герман Холлерит скончался. В музее славы IBM хранятся золотые, серебряные и бронзовые медали и многочисленные патенты, которых был удостоен Г. Холлерит.

Г. Холлерит стал «отцом-основателем» целого направления вычислительной техники – счетно-перфорационного. На базе созданных им устройств создавались целые машиносчетные станции для механизированной обработки информации, послужившие прообразом грядущих вычислительных центров.

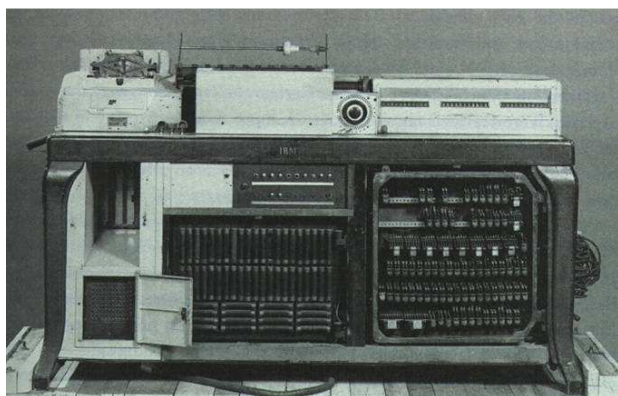


Рис. 50. Табулятор фирмы IBM

Табулятор фирмы IBM (1920-е гг.) представлял собой сложнейшее устройство, содержащее 100 тыс. деталей, 5 км проводов (рис. 50).

Результаты расчетов выдавались на печать.

3.2. Счетно-перфорационная техника

Начиная с двадцатых годов XX в., применение счетно-перфорационной техники становится доминирующим направлением развития вычислительной техники.

Распространение счетно-аналитической техники было связано с тем, что перфорационные машины по сравнению с арифмометрами

имеют большую скорость и меньшую вероятность ошибок при вычислениях. После того как исходные данные пробиты в виде отверстий в перфокартах, остальная работа выполняется машинами, входящими в состав счетно-аналитического комплекса. Конкретный комплекс счетно-аналитической техники может состоять из различного числа устройств, но в него обязательно входят следующие четыре устройства:

- 1) входной перфоратор;
- 2) контрольник;
- 3) сортировальная машина;
- 4) табулятор.

Перфоратор служит для пробивки отверстий в перфокартах, а контрольник – для проверки правильности этой пробивки, т.е. правильности перенесения информации с исходного документа на перфокарту. Обычно контрольник конструируется на основе перфоратора с заменой пробивного устройства воспринимающим. Основной функцией сортировальной машины является группировка перфокарт по признакам для дальнейшей обработки на табуляторе. Разновидностью сортировальной машины является счетно-сортировальная, т.е. имеющая приспособление для подсчета перфокарт в каждой группе. Основная машина счетно-аналитического комплекса (САК) – табулятор. Независимо от конструкции его обязательными частями являются механизмы, обеспечивающие:

- подачу перфокарт;
- восприятие пробивок и счет пробивок;
- печать результатов;
- управление комплексом.

К 1930 г. в мире уже существовало около 8000 САК. Нередко в них внедрялись новаторские решения: табуляторы с алфавитно-цифровым выводом, совместная работа нескольких табуляторов. Например, в универмаге города Питтсбург эксплуатировалась система из 250 терминалов. Они были соединены телефонными каналами с 20 табуляторами, оборудованными пишущими машинками. С помощью терминалов считывались данные, выбитые в виде дырочек на ярлыках товаров. Далее система обрабатывала эти данные и выбивала счет (это уже можно назвать первым прообразом вычислительной сети).

В начальный период развития перфорационной техники она применялась главным образом в статистике. Со временем все более возрастает ее применение для бухгалтерского учета. Например, в 40-е

гг. в СССР в статистике использовалось около 10 % счетно-аналитических машин, а более 80 % – в бухгалтерском учете.

Наряду с обработкой экономической и статистической информации САК постепенно начинают применять для выполнения расчетов научного и научно-технического характера. В Советском Союзе первое применение САК для научно-технических вычислений в области астрономии относится к началу 30-х гг., а с 1938 г. табуляторы используются в математических исследованиях.

В Академии наук СССР создается самостоятельная машиносчетная станция. В 1926–1927 гг. в промышленности, на транспорте, в государственных банках и ЦСУ создаются крупные машиносчетные станции. С 1931 г. в СССР начинается широкое развитие работ по механизации учета. В Москве создается специальный завод счетно-аналитических машин (САМ).



Рис. 51. Перфораторный цех МСС

К 1932 г. в нашей стране было создано 12 машиносчетных станций, а к 1935 г. отечественная промышленность наладила выпуск всех основных видов счетно-аналитического оборудования.

В 1950-е гг. создается электромеханический перфоратор П80-2 (рис. 51) с автоматической подачей и откладкой карт и с механизмом дублирования, позволяющим делать пробивки с ранее пробитых перфокарт.

Первый отечественный табулятор САК позволял суммировать числа с перфокарт, печатать эти числа и подсчитанные итоги.

Следующей была выпущена модель Т-2, выполняющая те же операции и получившая широкое распространение. Эта модель выпускалась до 1940 г. Она была рассчитана на два режима работы: обычный (4,5 тыс. перфокарт в час) и повышенный (9,5 тыс. перфокарт в час). Смена режима осуществлялась переключением скорости работы главного мотора, а выбор режима определялся скоростью подачи перфокарт.



Рис. 52. Вычислительная машина
РВМ-1

Последний крупный проект программно-управляемой релейной машины был выполнен в Советском Союзе в 1957 г.

Машина «РВМ-1» (Релейная вычислительная машина-1) была создана по проекту Н. И. Бессонова (рис. 52). Проект запоздал, но был очень удачным и по быстродействию мог соперничать с электронными вычислительными машинами: умножение двух чисел с плавающей точкой с 27-разрядной мантиссой и 6-

разрядным порядком производилось за 50 мс.

На ней производился перерасчет цен на товары в связи денежной реформой 1961 г.

3.3. Клод Шеннон

В 1936 г. Клод Шеннон, двадцатилетний выпускник американского университета, соединил математическую логику с двоичной системой счисления и электрическими цепями.

В то время К. Шеннон только что перешел в Массачусетский технологический институт из Мичиганского университета, где получил два диплома бакалавра – по электротехнике и по математике.



Клод Шеннон

Желая подработать, К. Шеннон выполнял обязанности оператора на механическом вычислительном устройстве (рис. 53) под названием «дифференциальный анализатор», который построил в 1930 г. научный руководитель К. Шеннона профессор Ванневер Буш.



Профессор Ванневер Буш

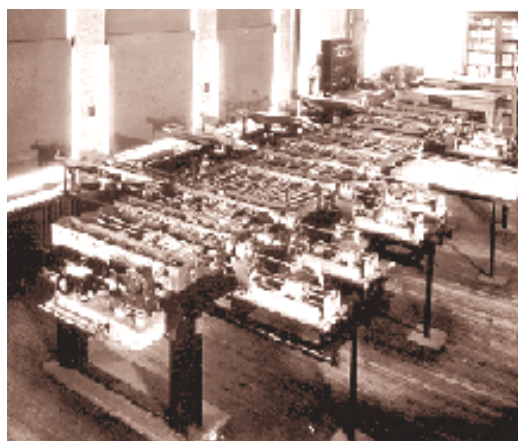


Рис. 53. Дифференциальный анализатор

Это была первая машина, способная решать сложные дифференциальные уравнения, которые позволяли предсказывать поведение таких движущихся объектов, как самолет, или действие силовых полей, например гравитационного поля.

На решение подобных уравнений вручную уходили иногда целые месяцы, так что дифференциальный анализатор имел важное научное значение. Однако он обладал следующими серьезными недостатками:

- гигантские размеры. Подобно аналитической машине Ч. Бэббиджа, механический анализатор В. Буша представлял собой сложную систему валиков, шестеренок и проволок, соединенных в серию больших блоков, которые занимали целую комнату. Большие габариты устройства объяснялись тем, что расчеты проводились в десятичной системе счисления;

- дифференциальный анализатор был аналоговым устройством, которое само измеряло скорость и расстояние, а затем на основе измеренных величин проводило расчеты. Чтобы поставить машине задачу, оператор должен был вручную подбирать множество шестереночных передач, на что уходило 2–3 дня. При любом изменении параметров задачи оператору нужно было выполнить довольно обременительную работу.

В качестве темы диссертации В. Буш предложил К. Шеннону изучить логическую организацию своей машины. Вспомнив булеву алгебру, которую он изучал еще студентом, К. Шеннон поразились ее сходством с принципами работы электрических схем. Если построить электрические цепи в соответствии с принципами булевой алгебры, то

они могли бы выражать логические отношения, определять истинность утверждений, а также выполнять сложные вычисления.

Свои идеи относительно связи между двоичными числами, булевой алгеброй и электрическими схемами К. Шеннон развил в докторской диссертации, опубликованной в 1938 г. Эта работа по праву считается поворотным пунктом в истории развития современной информатики и вычислительной техники. Десятилетием позже К. Шеннон опубликовал еще одну важную работу – «Математическую теорию связи». В ней он изложил идеи, которые впоследствии легли в основу новой отрасли науки – теории информации. К. Шеннон предложил метод, позволяющий определять и измерять информацию в математическом смысле, путем сведения ее к выбору между двумя значениями: «да» и «нет», или двоичными разрядами. Эта идея составляет фундамент современной теории связи.

Шеннон ввел определение бита – наименьшей единицы информации в двоичном коде, который применяется в современных компьютерах (**bit** – сокращение от **binary digit**, что означает «двоичный разряд»).

3.4. Довоенные разработки

Особенно много внимания правительства разных стран стало уделять развитию вычислительной техники перед Второй мировой войной, понимая, как много преимуществ получает сторона, владеющая машинными способами кодирования и декодирования информации.

В конце 30-х гг. XX в. был построен ряд релейных вычислительных систем, способных выполнять сложные научно-технические расчеты в автоматическом режиме и со скоростью, на порядок превышающей скорость работы арифмометров с электроприводом. Наиболее крупные проекты в 1940-е гг. были выполнены в Германии (К. Цузе) и США (Дж. Эйкен и Дж. Стибиц).

3.5. «Изобретатель компьютера» К. Цузе

Таким титулом награжден немецкий инженер Конрад Цузе (1910–1995).

Конрад Цузе с детства любил изобретать и строить. Еще школьником он сконструировал действующую модель машины для размена монет. Приблизительно в то же время он создавал проект города, рассчитанного на 37 млн жителей. В 30-х г. Цузе занимался проектированием самолетов в компании Henschel Aircraft.



Конрад Цузе

Ему приходилось выполнять вычисления для определения оптимальной конструкции крыльев. В то время существовали только механические калькуляторы с десятичной системой счисления. К. Цузе заинтересовала проблема автоматизации всего процесса вычислений, так как он вынужден был выполнять множество однообразных рутинных расчетов по заданной схеме.

В 1934 г. К. Цузе придумал модель автоматического калькулятора, которая состояла из устройства управления, вычислительного устройства и памяти и полностью совпадала с архитектурой современных компьютеров.

В те годы К. Цузе пришел к выводу, что будущие компьютеры будут основаны на следующих шести принципах:

- 1) двоичная система счисления;
- 2) использование устройств, работающих по принципу «да/нет» (логические единица и ноль);
- 3) полностью автоматизированный процесс работы вычислителя;
- 4) программное управление процессом вычислений;
- 5) поддержка арифметики с плавающей запятой;
- 6) использование памяти большой емкости.

Он первым в мире:

– показал, что обработка данных начинается с бита (бит он называл да/нет-статусом, а формулы двоичной алгебры – условными суждениями);

– ввел термин «машинное слово» (word);

– объединил в вычислителе арифметические и логические операции, отметив, что «элементарная операция компьютера –

проверка двух двоичных чисел на равенство. Результатом будет тоже двоичное число с двумя значениями (равно, не равно)».

При этом К. Цузе не имел никакого представления не только об аналогичных исследованиях коллег в США и Англии, но даже о механическом вычислителе Ч. Бэббиджа, созданном в XIX в. Однако много лет спустя он писал, что в этом состояло его преимущество – в силу своей неосведомленности он был свободен в поисках системы, наиболее подходящей для автоматических вычислений. Поэкспериментировав сначала с десятичной системой счисления, К. Цузе предпочел все же двоичную. И здесь он проявил незаурядные способности. Не зная о работах Дж. Буля и о машине Ч. Бэббиджа, он тем не менее использовал в созданной им вычислительной машине принципы булевой алгебры.

В 1936 г. К. Цузе запатентовал идею механической памяти.

3.5.1. Машины К. Цузе

Z-1. В 1937 г. К. Цузе создал работающую память для хранения 12 двоичных чисел по 24 бита и занялся созданием пер-вой версии своего вычислителя, которую он сначала назвал **Versuchsmodell-1** (V-1). Эта аббревиатура совпала с названием немецких ракет V-1, и тогда он переименовал свое творение в Z-1. Основную часть работы над компьютером он проделал в гостиной родительского дома. Машина была построена на чисто механической (рычажной) основе.

Благодаря использованию двоичной системы счисления машина занимала площадь около 4 м² и представляла собой множество реле и проводов, имела клавиатуру, с которой вводились в нее условия задач и данные.

Арифметический модуль мог работать с числами с плавающей запятой (фактически они состояли из двух чисел: одно представляло собой 16-разрядную мантиссу, другое – 7-разрядную экспоненту), осуществлял преобразования двоичных чисел в десятичные и обратно и поддерживал ввод и вывод данных. Память (тоже на механических элементах) содержала 64 слова (вместо тысячи у Бэббиджа, что тоже уменьшило размеры машины).

Машина Z-1 была закончена в 1938 г. и работала неустойчиво из-за ненадежной механической памяти.

Трудами К. Цузе заинтересовалось руководство Института аэродинамических исследований третьего рейха. Они взяли финансировать работы над следующей моделью вычислителя Z-2.

Z-2. В Z-2 механическое арифметическое устройство было заменено арифметическим устройством на электромагнитных телефонных реле. В этом К. Цузе помог его друг, австрийский инженер Г. Шрайер, специалист в области электроники.

Г. Шрейер раньше работал киномехаником, поэтому он предложил сделать устройство ввода программы с помощью перфорированной киноленты

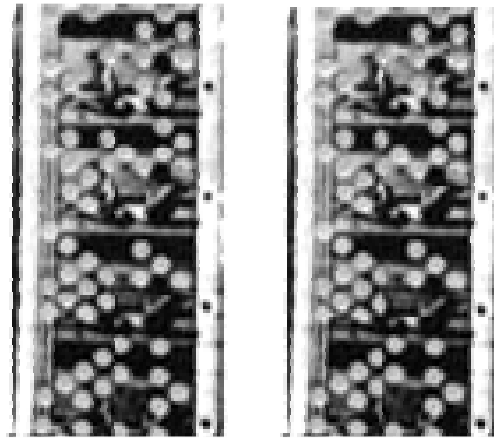


Рис. 54. Перфорированная кинолента

Результаты расчетов демонстрировались с помощью электрических ламп. Релейный Z-2 был построен и успешно заработал в апреле 1939 г.

Z-3. В 1941 г. К. Цузе приступил к проектированию более мощной модели – Z-3 (рис. 55, 56). Ввод программы, представлявшей собой последовательность довольно мощных логических команд, по-прежнему происходил с перфорированной киноленты.

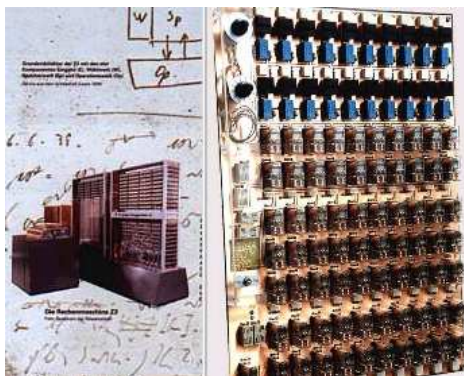


Рис. 55. Блоки машины Z-3

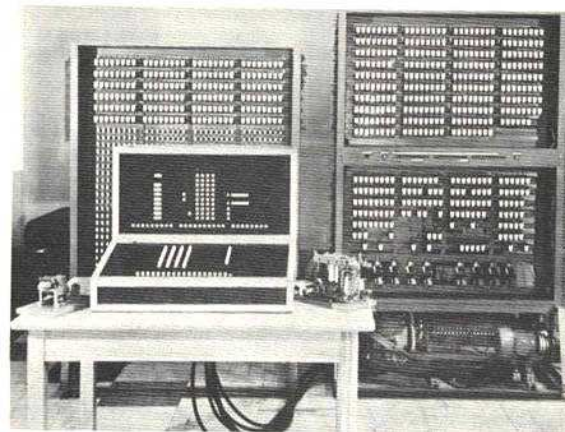


Рис. 56. Вычислительная машина Z-3

Память Z-3 позволяла хранить 64 слова (14 бит на мантиссу, 7 бит на экспоненту и 1 бит на знак) и состояла из 1400 реле.

Для арифметического устройства потребовалось 600 реле, и еще 400 реле применялось в устройстве управления.

Z-3 выполнял не только четыре арифметические операции, но и вычисление квадратного корня, умножение на -1 , $0,1$, $0,5$, 2 и 10 . Z-3 выполнял 3–4 операции сложения в секунду и умножал два числа за 4–5 с.

Одновременно К. Цузе занимался проектированием механических устройств дистанционного управления бомбами для повышения точности попадания в цель. Для создания модели требовалось провести очень большие вычисления, и он сначала сделал специализированный компьютер, выполнявший фиксированную последовательность операций. Затем он решил также автоматизировать работу оператора, занимавшегося вводом данных, и первым в мире сделал то, что сегодня называется аналогово-цифровым преобразователем.

Z-4. Из-за небольшого объема памяти на Z-3 нельзя было решать, например, системы линейных уравнений, а институту это требовалось. К. Цузе понимал все минусы своей машины и хотел создать полноценный компьютер, которому, по оценкам самого К. Цузе, требовалась емкость памяти как минимум 8 тыс. слов.

В 1942 г. он и Г. Шрайер предложили создать компьютер принципиально нового типа. Они решили перевести машину Z-3 с электромеханических переключателей на вакуумные электронные лампы. В отличие от электромеханических переключателей электронные лампы не имеют движущихся частей; они управляются электрическим током исключительно электрическим способом. Машина, задуманная К. Цузе и Г. Шрайером, должна была работать в тысячу раз быстрее, чем любая из машин, имевшихся в то время в Германии.

Но предложение инженеров отклонили. Война еще только начиналась, и Гитлер, уверенный в быстрой победе, наложил запрет на все долговременные научные разработки. «Нас спросили, когда наши машины заработают, – вспоминал К. Цузе. – Мы ответили, что приблизительно года через два. На что было сказано, что война к тому времени успешно закончится». Говоря о потенциальных сферах применения своего быстродействующего компьютера, Цузе и Шрайер отмечали возможность его использования для расшифровки закодированных сообщений, передаваемых британским командованием по рациям. Тогда еще никто не знал, что англичане уже разрабатывали машину для той же цели.

К. Цузе потерял все свои машины, за исключением Z-4, во время бомбежек Берлина. Чтобы не попасть в плен в последние дни войны, он присоединился к группе ученых, разрабатывавших ракеты в

Германии. Они пытались скрыться в отрогах Альп в Баварии. В одном из грузовиков находилась машина Z-4. Американцы, захватившие эту группу в плен, сразу же предложили работу одному из ее членов, конструктору ракет Вернеру фон Брауну (создателю ракет Фау-2). На К. Цузе, успевшего спрятать свою машину в подвале крестьянского дома, американцы не обратили особого внимания.

После войны К. Цузе временно остался не у дел. Z-3 был разрушен, Z-4 не закончен. В 1949 г. К. Цузе начал работать над коммерческими «потомками» машины Z-4.

Ему помогал математик Герр Лохмейер. К. Цузе попытался автоматизировать игру в шахматы, описать правила игры в терминах логических вычислений. Сразу возникли проблемы, хорошо известные сегодня специалистам по искусственному интеллекту, – не было подходящего инструментария для работы со сложными структурами данных.

Публикаций о работах К. Цузе и какой-либо рекламы из-за секретности не было, и поэтому о них стало известно лишь спустя несколько лет после завершения Второй мировой войны.

В начале 1950-х гг. экономика Германии пошла на подъем. К. Цузе организовал фирму Zuze KG, построил машину Z-11 и использовал ее для решения задач перепланировки земель, проектирования оптических приборов. Уже тогда возникли проблемы создания хорошего программного обеспечения.

Затем К. Цузе построил машину Z-22, которая:

- поддерживала общие алгоритмы вычислений;
- могла работать с произвольными структурами данных;
- имела достаточный объем памяти и была популярна у многих немецких инженеров и ученых.

К. Цузе полагал, что у него появятся заказы на расчеты от малых и средних компаний, но они тогда не очень нуждались в подобных услугах, и Zuze KG оказалась убыточной. Государственное финансирование работ в компьютерной области началось позже.

К. Цузе продолжал экспериментировать с различными вычислительными устройствами, сделал автоматическую рисовальную доску – первый прообраз современных систем автоматизированного проектирования. В 1964 г. он предложил автоматическую систему управления крупными ткацкими станками. С 1966 г. К. Цузе стал работать в компании Siemens AG.

3.5.2. Язык Plankalkul

Одним из своих наиболее выдающихся достижений К. Цузе считал создание языка **Plankalkul** («исчисление планов») в 1945 г. (рис. 57). Язык не был привязан к архитектуре и наборам команд конкретной вычислительной машины в отличие от первых языков ассемблера.



Рис. 57. Фрагмент программы на языке Plankalkul

К. Цузе создал первый в мире символический язык (термина «алгоритмический язык» еще не существовало) и технику трансляции адресов. Кроме того, он предложил использовать подпрограммы с параметрами. В то же время К. Цузе придумал название своему устройству – логическая вычислительная машина.

В Plankalkul было введено понятие объекта.

Объект мог быть:

– примитивным, основанным на двоичных числах произвольной длины. При записи логической единицы К. Цузе использовал символ L; например, двоичное число 1001 записывалось как L00L;

– составным (структуры, рекурсивно определяемые массивы произвольной размерности и т.д.). Битовый массив размерности $[n][m]$ обозначался как $n \times m \times S0$. Индексация в Plankalkul всегда начиналась с 0. Разрешалось работать с подмассивами: для трехмерного массива $V[[]][[]]$ можно указать матрицу $V[i]$ и вектор $V[i][j]$. Для описания переменной использовалась нотация $S1.n$ (n бит).

Plankalkul допускал использование значительно более сложных синтаксических конструкций. Десятичное число (0–9) определялось с помощью записи $S1.4$ (4 бита, значения от 0 до 15) с наложенным ограничением по диапазону. Структура из трех компонентов записывалась, например, как $(A2, S1.4, A3)$, где объекты $A2$ и $A3$ определялись ранее. Для упорядочения сложных описаний в языке использовался специальный синтаксис.

В качестве идентификаторов переменных применялось сочетание «буква + число». Первой буквой могла быть:

- V (параметр ввода);
- Z (промежуточное значение);

- R (результатирующее значение);
- C (константа).

Программы и подпрограммы (параметры передавались по значению) трактовались как переменные (префикс R). Например, запись R3.7 означала вызов 7-й программы 3-й программной группы.

Plankalkul предусматривал возможность работы массивов программ, что сегодня только реализуется в распределенных системах.

К. Цузе придумал оператор присваивания, для которого определил знак. На Цюрихской конференции по языку Алгол европейская группа хотела ввести в стандарт языка именно его, и только под сильным давлением американской группы, не заинтересованной в введении символов, не поддерживаемых в компьютерах США, согласилась на сочетание $:=$.

Plankalkul поддерживал мощные синтаксические конструкции и позволял компактно описывать сложные условные циклы. На Plankalkul было написано много самых разных невычислительных алгоритмов: обработки символьной информации, генерации шахматных ходов и др. В память о К. Цузе планируется сделать компилятор для Plankalkul.

Сегодня работы К. Цузе известны во всем мире. Он оказал несомненное влияние на развитие европейских компьютерных технологий. Его труды использовались при создании новых компьютеров и при разработке первых алгоритмических языков программирования. К. Цузе получил множество наград и призов и заслужил международное признание.

Правительство Германии в 1980 г. выделило К. Цузе 800 тыс. марок для воссоздания Z-1 (рис. 58, 59), что он и осуществил вместе с помогавшими ему студентами. Сейчас эта вычислительная машина находится в музее вычислительной техники в Падеборне.

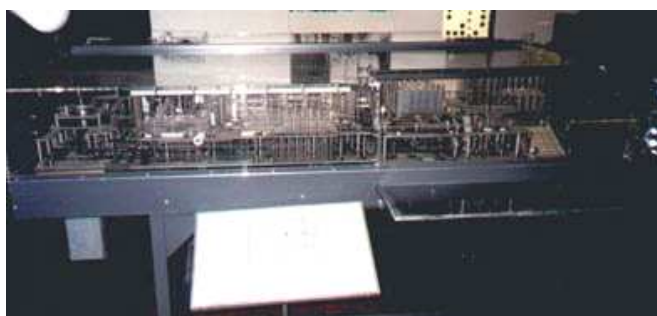


Рис. 58. Реконструкция Z-1



3.6. Машины Дж. Стибица

В 1937 г. Джордж Стибиц – математик из фирмы «Bell Telephone Labs» – пришел к выводу, что булева логика – это естественный язык, на котором должна основываться работа систем электромеханических реле.



Дж. Стибиц сразу приступил к работе, полагая, что руководство фирмы найдет применение его результатам. Работая по вечерам за кухонным столом, он собрал аппарат из старых реле, батареек, лампочек, проводов и металлических полосок, нарезанных из жестяных банок. Созданное им устройство было электромеханической схемой, выполняющей операцию двоичного сложения, т.е. двоичным сумматором (рис. 60).

Джордж Стибиц Это было первое устройство подобного типа. В наши дни двоичный сумматор по-прежнему остается одним из основных компонентов любого цифрового компьютера.

Первую свою машину Дж. Стибиц назвал **Model K**.

В 1939 г. Стибиц вместе с другим сотрудником фирмы, инженером-электриком Сэмюелом Уильямсом, разработал вычислительную машину «Bell-I» на электромагнитных реле, способную оперировать с комплексными числами.

Дж. Стибиц назвал свою машину табулятором комплексных чисел (рис. 61), и в январе 1940 г. ее начали использовать в управлении фирмы.

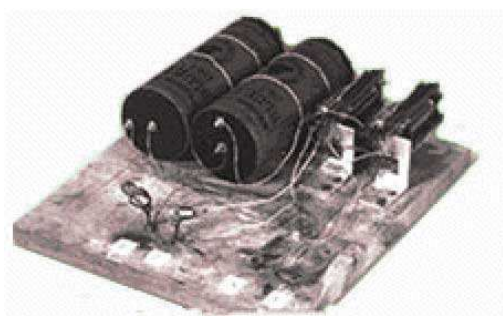


Рис. 60. Первый двоичный сумматор

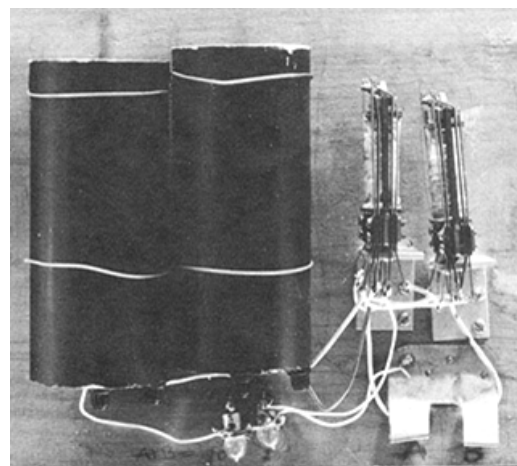


Рис. 61. Табулятор комплексных чисел

Установленный рядом телетайп передавал на машину сигналы и через считанные секунды получал ответы. Затем к машине подключили еще два телетайпа, расположенных в других помещениях. Это позволило людям, работавшим в разных отделах, пользоваться одним и тем же компьютером. В сентябре того же года к системе подключили четвертый телетайп, который находился от нее на расстоянии 400 км, в зале Дартмутского колледжа в Ганновере. Здесь перед аудиторией, которую составили 300 членов Американского математического общества, Дж. Стибиц продемонстрировал, как можно производить вычисления на электромеханическом калькуляторе, управляемом на расстоянии.

В 1942 г. была сконструирована машина «Bell-2», автоматически управляемая программой (машина «Bell-1» автоматического управления не имела). В этой машине впервые была применена встроенная система обнаружения ошибок, останавливающая процесс вычислений, если не срабатывало реле.

Каждая новая разработка Дж. Стибица была шагом к созданию универсальной цифровой вычислительной машины. В 1942–1944 гг. была построена вычислительная машина «Bell-3» с управлением с помощью программы, записанной на перфолену. Машина содержала устройство умножения, средства автоматического просмотра таблиц, записанных на бумажную перфолену, и запоминающее устройство на 10 слов. По образцу «Bell-3» был построен релейный калькулятор «Bell-4».

Последней релейной машиной, построенной Дж. Стибицем, была машина «Bell-5». Она оперировала 7-разрядными десятичными числами, выполняла сложение за 0,3 с, умножение за 1 с и деление за

2,2 с. Прогрессивные черты вычислительной машины – арифметика с плавающей точкой, многопроцессорная система.

3.7. Машины Г. Эйкена

В конце 1941 г. США вступили во Вторую мировую войну. После этого президент фирмы IBM Томас Дж. Уотсон направил телеграмму в Белый дом. Как и многие другие руководители крупных компаний, он предложил американскому правительству услуги своей корпорации.

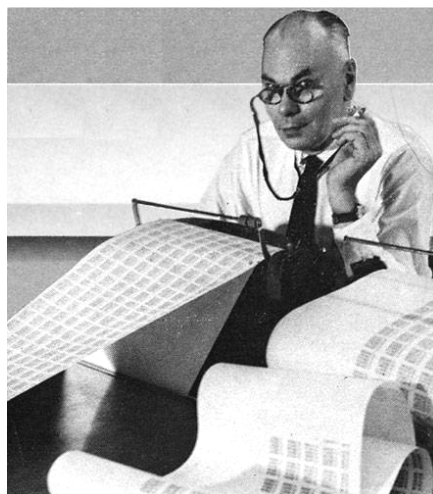
Производственный потенциал фирмы IBM имел мало общего с военной техникой. В основном фирма была ориентирована на производство таких изделий, как пишущие машинки, настольные калькуляторы и табуляционные машины, подобные той, которую изобрел Г. Холлерит в 1890 г. Фирма IBM поставляла для военных нужд тысячи табуляторов, которые ускоряли поток бумажной работы, порожденной всеобщей мобилизацией. Часть производственных помещений фирмы Т. Уотсон переоборудовал, приспособив их для изготовления винтовок и прицельных устройств для бомбометания.

В 1937 г. гарвардский математик Говард Эйкен предложил проект создания большой счетной машины. Спонсировал работу президент компании IBM Т. Уотсон, который в 1939 г. вложил в нее 500 тыс. долл. из фондов своей фирмы. Проектирование «Mark-1» началось в 1939 г., строило этот компьютер нью-йоркское предприятие IBM (рис. 62).



Рис. 62. Вычислительная машина Mark-1

В процессе работы над докторской диссертацией Г. Эйкену приходилось выполнять бесконечное множество вычислений. Имевшиеся сортировальные машины и калькуляторы его не устраивали, и он решил создать универсальную программируемую вычислительную машину.



Говард Эйкен

В отличие от работ К. Цузе, которые велись с соблюдением секретности, разработка «Mark-1» проводилась открыто. О создании необычной по тем временам машины быстро узнали во многих странах мира. За день машина выполняла вычисления, на которые раньше тратилось полгода! Дочь К. Цузе, работавшая в то время в военной разведке и находившаяся в Норвегии, прислала отцу вырезку из газеты, сообщавшую о грандиозном достижении американского ученого.

В качестве переключательных устройств в машине Г. Эйкена использовались электромеханические реле.

Программы обработки данных были записаны на перфоленты. В отличие от Дж. Стибиза, Г. Эйкен еще не осознал преимуществ двоичной системы счисления, поэтому данные вводились в машину в виде десятичных чисел, закодированных на перфокартах фирмы IBM.

Машина «Mark-1» управлялась специальной программой. Программа задавалась на 24-дорожечной управляющей перфоленте, движущейся со скоростью 200 тактов в минуту. «Mark-1» мог обрабатывать числа длиной до 23 разрядов.

За один такт выполнялась операция типа сложение, на что затрачивалось 0,3 с. Умножение и деление производились за несколько шагов. Это требовало 5–7 с на умножение и 15 с на деление. Такое быстродействие было беспрецедентным, хотя лишь незначительно превосходило показатели, запланированные Ч. Бэббиджем.

«Mark-1» достигал почти 17 м в длину и более 2,5 м в высоту, содержал около 750 тыс. деталей, из них 3304 реле. Детали были соединены проводами общей протяженностью около 800 км. Вес машины – 5 т.

Первые испытания были проведены в начале 1943 г. (рис. 63).



Рис. 63. Программируемый компьютер «Mark-1»
в процессе разработки

Вскоре после этого машину временно передали в распоряжение военно-морского флота (ВМФ). Ее стали использовать для выполнения сложных баллистических расчетов, которыми руководил сам Г. Эйкен. В 1944 г. машина была официально передана Гарвардскому университету и работала там еще 16 лет. Но, несмотря на долгий и солидный послужной список, она так и не принесла того успеха, на который рассчитывал президент фирмы IBM Т. Уотсон. Другие изобретатели – немцы, англичане – руководствовались при разработке компьютеров более перспективными методами. По существу, «Mark-1» устарел еще до того, как был построен.

Г. Эйкен получил несколько заказов от военных. «Mark-II» была заказана управлением вооружения ВМФ США. Работа над компьютером «Mark-II» шла с 1945 по 1947 г. «Mark-II» представляла собой первую многозадачную машину – наличие нескольких шин позволяло одновременно передавать из одной части компьютера в другую несколько чисел. Были созданы третий и даже четвертый варианты компьютера «Mark-I», но уже без поддержки фирмы IBM.

Г. Эйкен, вернувшись в университет, первым в мире начал чтение лекций по новому тогда предмету, получившему название Computer Science – наука о компьютерах (в Европе этот предмет называется Informatique – информатика). Он же первым предложил использовать машины в деловых расчетах и бизнесе.

Дальнейшее повышение скорости вычислений могло произойти только в результате перехода на электронные схемы.

Краткие итоги

Необходимость проведения массовых расчетов в различных областях и развитие электротехники привели к созданию электромеханической вычислительной техники. Кроме того, были введены еще очень важные принципы и понятия – двоичная система счисления и математическая логика Джорджа Буля.

Самым известным изобретением электромеханического периода является статистический табулятор, построенный американцем Германом Холлеритом для ускорения обработки результатов переписи населения, которая проводилась в США в 1890 г.

Основными устройствами табулятора были:

- вычислительный механизм, в котором использовались реле;
- перфоратор;
- сортировальная машина.

Г. Холлерит стал «отцом-основателем» целого направления вычислительной техники – счетно-перфорационного. На базе созданных им устройств создавались целые машиносчетные станции для механизированной обработки информации, послужившие прообразом грядущих вычислительных центров.

В 1924 г. появилась всемирно известная фирма International Business Machines Corp (IBM).

С точки зрения преодоления различных инженерных трудностей и применения целого ряда прогрессивных принципов (программное управление, двоичная система счисления, операции условного перехода и т.д.) такие машины, как Z-3 и «Марк-1», были выдающимися достижениями своего времени. Однако вычислительные машины с таким быстродействием не могли стать основой для серьезных изменений в области автоматизации вычислительных работ. Вычисления они выполняли чрезвычайно медленно, так как были основаны на медленно работающих элементах. Хотя время срабатывания реле и составляет 0,1 с, но в двоичной системе каждое действие требует во много раз больше тактов работы, чем в десятичной.

Только появление электронных вычислительных машин привело к постепенному закату эры электромеханических средств вычисления, развивавшихся вплоть до середины 50-х гг. прошлого века. Но успешно апробированные Г. Холлеритом источники ввода информации на перфокартах широко использовались в нескольких поколениях первых ЭВМ.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается особенность табулятора Г. Холлерита?
2. Какие элементы языка Plankalkul можно встретить в современных языках программирования?
3. Проследите эволюцию машин К. Цузе.
4. Как развивалось счетно-перфорационное направление вычислительной техники?