

Министерство образования и науки Российской Федерации
Коми государственный педагогический институт

В. П. Одинец

Зарисовки
по истории компьютерных наук

Учебное пособие

Сыктывкар
2013

УДК 004:93
ББК 32.975
О 42

*Печатается по решению редакционно-издательского совета
Коми государственного педагогического института от 25.12.2012 г.*

Рецензенты:

Флегонтов А. В. – профессор, д-р физ.-мат. наук, зав. кафедрой информационных систем и программного обеспечения РГПУ им. А. И. Герцена (Санкт-Петербург), действительный член Академии Информатизации Образования
Фокин Р. Р. – профессор, д-р пед. наук, зав. кафедрой информатики СПбГУСЭ (Санкт-Петербург), действительный член Академии Информатизации Образования

Одинец, В. П.

О 42 Зарисовки по истории компьютерных наук : учебное пособие / В. П. Одинец. – Сыктывкар : Коми пединститут, 2013. – 421 с.

ISBN 978-5-87661-246-5

Книга В. П. Одиноца является первым в мировой учебной и монографической литературе сочинением, охватывающим с единых позиций историю всех девяти компьютерных наук (идей, методов и биографий творцов) согласно американской классификации «Computer Science». Данное издание позволило вернуться к первоначальному замыслу автора и соединило в одной книге три части сочинения, вышедшего в 2011–2013 гг., дав широкую панораму истории создания компьютерных наук на стыке математики, физики и химии до 90-х гг. XX века. Материал книги собирался автором на протяжении трех десятилетий в России, Польше, Германии и США.

Книга, за исключением главы II, рассчитана на студентов, преподавателей школ, колледжей и вузов, а также всех интересующихся информатикой и ее историей. Глава II предназначена будущим математикам и информатикам, и при первом чтении может быть пропущена без ущерба для понимания.

**УДК 004:93
ББК 32.975**

ISBN 978-5-87661-246-5

© Одинец В. П., 2013
© Коми государственный педагогический институт, 2013

Оглавление

Из предисловия к 1-му изданию.....	6
Предисловие ко 2-му изданию.....	7

Часть I

Г л а в а I. История вычислительной техники и архитектуры компьютеров.....	9
§ 1. Доэлектронная эра истории компьютеров (до XVIII в.)....	9
§ 2. Доэлектронная эра истории компьютеров (XVIII–XIX вв.).....	13
§ 3. Аналоговые компьютеры.....	23
§ 4. Почти первое поколение компьютеров.....	29
§ 5. История создания компьютеров в России (до 1948 г.).....	42
§ 6. История создания компьютеров в России (1948–1954 гг.).....	52
Заключительные замечания.....	62
Г л а в а II. История развития теории алгоритмов.....	65
Введение.....	65
§ 7. Вычислительная модель Поста.....	67
Упражнения.....	74
§ 8. Вычислительная модель Тьюринга. Машина фон Неймана.....	75
§ 9. Вычислительные модели Маркова и Клини.....	84
Упражнения.....	94
§ 10. Проблемы разрешимости и перечислимости.....	94
Упражнения.....	102
§ 11. X-я проблема Гильберта.....	103
§ 12. Элементы теории сложности. <i>NP</i> -проблема.....	113
Упражнения.....	117

Г л а в а III. История систем искусственного интеллекта...	119
Введение.....	119
§ 13. Представление знаний в интеллектуальных системах.....	121
Упражнения.....	135
§ 14. Экспертные системы.....	135
Заключение.....	150
Упражнения.....	151
Список литературы.....	152

Часть II

Г л а в а IV. История языков программирования.....	163
§ 15. Алгоритмические языки. Первые два поколения языков программирования.....	163
§ 16. Языки высокого уровня и языки структурного программирования.....	173
§ 17. Языки конкретных классов задач.....	183
Упражнения.....	189

Г л а в а V. История баз данных и информационно-поисковых систем.....	190
§ 18. Система управления базами данных в интерактивном режиме.....	190
§ 19. Реляционная модель данных.....	194
§ 20. Специальные базы данных, включая базы информационно-поисковых систем.....	200
Упражнения.....	208

Г л а в а VI. История создания и развития операционных систем.....	210
§ 21. Прототипы операционных систем.....	210
§ 22. Классические операционные системы.....	213

§ 23. Мобильные операционные системы.....	219
§ 24. Отечественные операционные системы.....	225
Заключение.....	228
Упражнения.....	229
Список литературы.....	230

Часть III

Г л а в а VII. Компьютерные сети.....	238
Введение.....	238
§ 25. Локальные компьютерные сети.....	253
§ 26. Глобальные компьютерные сети.....	262
Упражнения.....	271

Г л а в а VIII. Взаимодействие человека и компьютера (HCI).....	272
Введение.....	272
§ 27. Внутренний интерфейс.....	286
§ 28. Внешний интерфейс.....	301
Упражнения.....	310

Г л а в а IX. Компьютерная графика.....	311
Упражнения.....	332

Заключение.....	333
Список литературы.....	338
Именной указатель.....	357
Предметный указатель.....	394
Список иллюстраций.....	417

Из предисловия к 1-му изданию

Прежде, чем вести речь об истории компьютерных наук, следует определить, что входит в их перечень. По американской классификации «Computer Science» он состоит из следующих разделов:

1. Вычислительная техника и архитектура компьютера.
2. Алгоритмы.
3. Искусственный интеллект.
4. Языки программирования.
5. Базы данных и информационно-поисковых систем.
6. Операционные системы.
7. Компьютерные сети (включая Internet).
8. Системы взаимодействия человека и компьютера (HCT).
9. Компьютерная графика.

Именно эти 9 разделов (глав) и будут представлены читателю в трех частях нашего сочинения (см. также [1–10], с. 358).

Это сочинение возникло на основе докладов и лекций, прочитанных автором в разные годы (2003–2010) в Зеленогурском университете (Польша), и годового курса лекций, прочитанного в Сыктывкарском государственном университете в 2010/2011 учебном году, а также материалов к учебному пособию по теории алгоритмов, изданному (совместно с М. В. Пospelовым) в 2006 г.

Не углубляясь в чисто технические детали, хотя и признавая их важность, основное внимание в книге сосредоточено на истории появления идей и методов. По структуре все параграфы либо заканчиваются биографиями основных ученых, упомянутых в данном параграфе, либо их биографии даются в сносках. Настоящая книга не может служить заменой учебников, поскольку

охватывает далеко не всю историю указанных выше разделов¹. Связано это как с селекцией материала автором, что и отражено в названии сочинения, так и с временными ограничениями – материал в основном охватывает период до XXI в. Не будучи чисто учебным пособием, хотя бы потому, что только цитированная литература насчитывает около 500 позиций, считаем полезным давать в части параграфов задачи для самостоятельной работы по тематике данного параграфа.

В конце каждой части дается список основной литературы, а также именной и предметный указатели. При этом именные указатели для удобства читателей снабжены, по возможности, датами жизни.

Предисловие ко 2-му изданию

Настоящая книга является вторым изданием трехчастного сочинения «Зарисовки по истории компьютерных наук», выходявшего отдельными частями в 2011–2013 гг. в издательстве Коми государственного педагогического института г. Сыктывкара.

В настоящем издании сохранена нумерация глав и параграфов первого издания, охватывающая разделы 1–9 американской классификации «Computer Science». Однако во 2-м издании есть и некоторые изменения: так, оглавление, именной и предметный указатели, а также список иллюстраций теперь общие для всей книги. При этом именной указатель расширен более чем на треть, за счет включения имен из списка цитированной литературы части III. Списки литературы к каждой части также пополнены. Включены в текст и некоторые новые материалы, например фо-

¹ Например, в главе «Искусственный интеллект» отсутствует материал по истории роботики.

тография, имя и отчество первого, наряду с Селимом Григорьевичем Крейном, советского программиста Сергея Александровича Авраменко¹; исправлены выявленные неточности и опечатки. Разумеется, постепенное рассекречивание документов СССР и США даст со временем более объективный взгляд на историю компьютерных наук (см., например, [143], с.162).

В заключение автор хотел бы выразить свою признательность рецензентам – профессорам А. В. Флегонтову и Р. Р. Фокину за ценные замечания, учтенные автором, а также поблагодарить всех, кто оказывал поддержку при создании этой книги. При этом особую благодарность хотел бы выразить профессорам В. Ф. Зайцеву, В. Г. Парфенову, А. Б. Певному, Н. Н. Петрову, Н. Х. Розову, И. В. Романовскому, Вернеру Шмидту и члену-корреспонденту РАН профессору Р. М. Юсупову, а также В. В. Бухваловой, С. В. Лесникову, Г. М. Полотовскому, М. Н. Юркиной (Истоминой) и А. М. Сухоногову.

Автор благодарит также всех, кто прислал свои замечания и предложения по e-mail: W.P.Odyniec@mail.ru, по возможности, учтенные автором.

Сыктывкар – Санкт-Петербург, октябрь 2013 г.

¹ Пока даты его жизни остаются закрытыми. Известно лишь, что после работы в лаборатории С. А. Лебедева в Феофании (около Киева) над МЭСМ он сменил в 1953 г. в Сарове (Арзамас-16) Николая Николаевича Боголюбова и работал там до 1963 г.

ЧАСТЬ I

Глава I. История вычислительной техники и архитектуры компьютеров

§ 1. Доэлектронная эра истории компьютеров (до XVIII в.)

Впервые трактовка слова *компьютер* появилась в известном Оксфордском словаре английского языка в 1897 г. Тогда под словом компьютер понималось *механическое вычислительное устройство*. В 1946 г. Словарь пополнился дополнениями, разделившими понятия цифрового, аналогового и электронного компьютера [1].

Итак: *computer* = устройство для счета (часто: электронная вычислительная машина);

analog computer = аналоговая вычислительная машина;

digital computer = цифровая вычислительная машина;

electronic brain (разг.) = электронная вычислительная машина

[2].

С формальной точки зрения следующие 6 устройств: абак¹, суан-пан², китайские счеты³, счетные узелки (кипу)⁴, саробан⁵,

¹ Абак появился в Древнем Вавилоне и Египте не менее чем за 1000 лет до н. э. Об абаке пишет Геродот (484, 425 г. до н. э.). Абак – это стол, доска, глиняная плита, разделенная на полосы, в которых передвигались камешки [3].

² Суан-пан появился в Китае около 500 г. до н. э. Первоначально это был набор соломинок с нанизанными щепками или камешками [4].

³ Китайские счеты появились в Китае в VI в. н. э. Вместо соломинок суан-пана – в них уже проволоки. Щепки и камешки заменились на выточенные диски или шарики.

⁴ Счетные узелки (кипу) появились у инков в XV в.

⁵ Саробан (аналог китайских счет). Япония XVI в.

русские счеты¹ тоже называют *компьютерами (преднулевого поколения)*.

Столь же часто эти устройства называют *некомпьютерными вычислительными устройствами*.

К компьютерам *нулевого поколения* относят:

- механическое устройство, в виде зубчатых передач, служащее для астрономических вычислений.



Антикитерский механизм

Появилось в Греции не позже 87 г. до н. э. Это так называемый «антикитерский механизм». В 1901 г. в Эгейском море недалеко от острова Антикитера был обнаружен античный римский корабль, на котором в 1902 г. было выделено устройство с бронзовыми шестернями. В 1951 г. англичанин Дерек де Солла Прайс (Derek J. De Solla Price) установил, что найденное устройство использовалось для расчета движения Солнца и Луны [5].

В 2006 г. с помощью рентгеновской методики на частях антикитерского механизма удалось прочесть 2000 греческих символов. Из них следовало, что механизм мог вычислять конфигурации движения Марса, Юпитера, Сатурна [6].

- Устройство Леонардо да Винчи (da Vinci Leonardo: 1452–1519), предназначенное для суммирования 13-разрядных десятичных чисел. Эскиз этого устройства, нарисованный еще в 1492 г., был обнаружен в так называемом «Мадридском кодексе» – неопубликованной рукописи да Винчи, в 1967 г. в Библиотеке

¹ Русские счеты – это версия китайских счет с 10 шариками на каждой проволоке, появились в России в XVI в.

Испании в Мадриде. Построенное по этому эскизу устройство, состоящее из 10-зубцовых колец (их 13), нанизанных на валик, позволяет складывать 13-разрядные числа.

- В 1617 г. Джон Непер (John Naper: 1550–1617) незадолго до своей смерти предложил *не логарифмический* способ перемножения чисел. На тонких пластинках (блоках) каждой из ее сторон были нанесены числа, образующие математические прогрессии (арифметические и геометрические). Манипуляции с блоками позволяли умножать и делить большие числа, а также извлекать квадратные и кубические корни. Эти пластинки получили позже название *палочек* (или *костяшек*) *Непера*¹.

- Годы с 1618 по 1630 отмечены взрывным интересом к изобретению логарифмических линеек. Первым обычно называют Эдмунда Гюнтера (Edmund Gunter: 1581–1626), с 1619 г. профессора астрономии Грешем Колледжа. Длина его логарифмической линейки была 2 фута (= 0,61 м). На ней были нанесены шкалы, проградуированные по экспоненциальному закону. Однако линейка не имела тогда подвижной средней части. Оперировать со шкалами нужно было с помощью циркуля, что было неудобно.

В 1630 г. Уильям Отред (William Oughtred: 1574–1660) и Ричард Деламейн (Richard Delamain: 1600–1644) независимо друг от друга предложили сдвигать шкалы в линейке. При этом были предложены как прямоугольные, так и круглые линейки, в которых логарифмические шкалы были нанесены на концентрических кольцах, вращавшихся друг относительно друга.

- В то время, когда в Англии занимались усовершенствованием логарифмической линейки, облегчившей прежде всего вычисления астрономам, в Германии профессор восточных языков Тюбингского университета, увлекавшийся астрономией, Виль-

¹ Напомним, что Неперу мы обязаны появлением логарифмов и таблиц логарифмов [3].

гельм Шиккард¹ (Wilhelm Schickard: 1592–1635) для своего кумира астронома Яна (= Иоганна) Кеплера (Johann Kepler: 1571–1630) строит вычислительную машину. Она была 6-разрядной и имела сумматор для десятичных чисел. Блок записи промежуточных действий практически был зародышем оперативной памяти. В 1623 г. В. Шиккард посылает эту машину по почте И. Кеплеру. К несчастью, пожар на почтовом отделении уничтожает машину.

В сохранившихся письмах к И. Кеплеру есть подробный эскиз и описание работы машины. По нему уже во второй половине XX века машина была построена. И она работает.

- В 1642 г. 19-летний Блез Паскаль (Blaise Pascal: 1623–1662) для своего отца Э. Паскаля² (E. Pascal: 1588–1651) изобрел вычислительную машину, в которой было устройство, выполнявшее (механически) сложение и вычитание 6–8-разрядных чисел. Эта машина должна была облегчить расчеты при проведении торговых операций, а также при расчете налогов.

Конструктивно машина Паскаля была фактически кассовым аппаратом, только без ящика для денег³.

- В 1672 г. Готфрид Вильгельм Лейбниц (Gottfried Wilhelm Leibniz: 1646–1716) строит по существу первый арифмометр, который, помимо операций сложения (и вычитания) мог уже выполнять операции умножения и деления.

В 1673 г. машина Лейбница была показана членам Королевского научного общества в Лондоне. Главную часть машины составляли ступенчатые валики, на которых набирались 2-разрядные числа.

¹ В 1631 г. В. Шиккард сам становится профессором астрономии Тюбингского университета.

² Напомним, что улитка Паскаля названа в честь Этьена Паскаля (Pascal Etienne: 1588–1651), увлекавшегося математикой.

³ Блез Паскаль построил более 70 экземпляров своей машины. Часть из них сохранилась и работает.

В 1694 г. Лейбниц усовершенствовал свою машину, и она стала 12-ти разрядной. Строительство вычислительной машины было для Лейбница не случайностью – Лейбницем владела идея построения универсального логического алгоритма, который позволил бы доказывать или опровергать любое предложение любой формализованной науки. Одним из первых шагов на пути построения такого алгоритма и должны были стать вычислительные машины¹ [3, с. 102].

- В 1673 г. часовщик и механик короля Франции Луи XIV (Louis XIV: 1638–1715) Рене Грийе де Ровен (Rene Grillet de Roven), живший в конце XVII в., опубликовал небольшую книжечку², в которой анонсировал изобретение арифметической вычислительной машины. Через 5 лет (в 1678 г.) в журнале «Le Journal des Scavans» он дал описание этой машины. По словам Рене Грийе, на этой машине можно было и складывать, и умножать.

В промежутке между 1673 и 1681 г. Рене Грийе демонстрировал свою машину и во Франции, и в Голландии.

§ 2. Доэлектронная эра истории компьютеров (XVIII–XIX вв.)

В XVIII в. продолжалось усовершенствование счетных машин Б. Паскаля и Г. Лейбница.

- В 1709 г. построена (из дерева) счетная машина итальянского математика и астронома Джованни Полени (Giovanni

¹ Один экземпляр машины Лейбница подвергся в 1894 г. неудачному ремонту, и машина не функционировала. Только в 1990 г. ошибка ремонтника была исправлена, и машина Лейбница снова заработала. Этот экземпляр сейчас хранится в Немецком музее в Мюнхене.

² Grillet de Roven Rene. *Curiositez mathematiques de l'invention du Sr Grillet horlogeur a Paris* (1673).

Poleni: 1683–1761). Экземпляры этой машины имеются в музее науки и техники в Милане и в музее «Arithmeum» в Бонне.

- В 1727 г. Антониус Браун (Antonius Braun: 1686–1728) изготавливает для Венского Двора вычислительную машину. Ее экземпляр находится ныне в Техническом музее Вены.

Эта машина позволяла умножать и делить трех–четырёхзначные числа.

В том же 1727 г. немецкий механик Якоб Леопольд (Jacob Leopold: 1674–1727) дал описание вычислительной машины, очень похожей на машину А. Брауна, которая должна была работать по принципу сегментации каждой числовой позиции. Благодаря помощи французского мастера – изготовителя инструментов и приборов – Филиппа Вайринже (Philippe Vauvringe: 1684–1746), в 1736 г. машина Брауна заработала¹.

В итоге эту счетную машину называют вычислительной машиной Леопольда-Брауна-Вайринже. Ее экземпляр находится в Немецком музее Мюнхена.



Филипп Хан

- В 1770 г. пастор Филипп Хан (Philipp Mathäus Hahn: 1739–1790) конструирует вычислительную машину, в которой каждой позиции отвечали концентрические зубчатые колеса на одном валу. Ф. Ханом было построено 4 или 5 экземпляров этой машины, два из которых работают и сегодня. Они хранятся в Земельном музее Вюртемберга (в Штуттгарте) и в Техносеум в Мангейме. При этом экземпляр из

¹ Как тогда говорили: «Braun invenit, Vauvringe fecit» = Браун изобретает, Вайринже представляет [товар лицом] (фр.).

Штуттгарта работает с одиннадцатизначными числами, а экземпляр из Мангейма – с двенадцатизначными числами.

Многие историки техники с учетом всех тех новинок, привнесенных пастором Ханом в его машину, даже называют эту машину первой по-настоящему вычислительной машиной.

- В 1786 г. немецкий военный инженер Иоганн Мюллер (Johann Helfrich Müller: 1746–1830) начинает постройку специализированного калькулятора для табулирования логарифмов. В машине используются ступенчатые валики, предложенные еще Г. Лейбницем. Это устройство могло оперировать с 14-разрядными числами и выполняло все четыре арифметические операции. Для табулирования И. Мюллер применяет метод конечных разностей¹.

- На рубеже XVIII и XIX вв. была построена еще одна вычислительная машина (хранится ныне в городском музее Гетеборга (Швеция)) под названием «счетная машина Саутера из Эслингена (Eßlingen)». До сих пор неизвестно, изобрел ли ее Иоганн Якоб Саутер (Johann Jacob (Jun) Sauter: 1770–?) (Onsfmettingen)) или его брат Иоганн Людвиг Саутер (Johann Ludwig Sauter: 1780–?). (Годы смерти братьев неизвестны.)

В XIX в., с одной стороны, шло совершенствование механических счетных машин и начато их серийное производство, а с другой – был сделан очень важный шаг в появлении первых программ и зародышей архитектуры современных компьютеров. Одновременно началось интенсивное развитие аналоговых компьютеров.

Самое начало XIX в., точнее 1801 г., был ознаменован событием, отголоски которого ощущались и 150 лет спустя. В этом году француз Жозеф Мари Жаккар (Joseph Marie Jacquard: 1752–1834) строит первый ткацкий станок с программным управлением.

¹ Подробнее этот метод будет рассмотрен далее при обсуждении разностной машины Ч. Бэббиджа.



Жозеф Мари Жаккар



Вильгот Теофил Однер

ем с помощью перфокарт [7]. Идея использования перфокарт для управления (и ввода данных) окажется весьма плодотворной при создании вычислительных машин уже через 33 года.

- Ну, а пока год 1820.

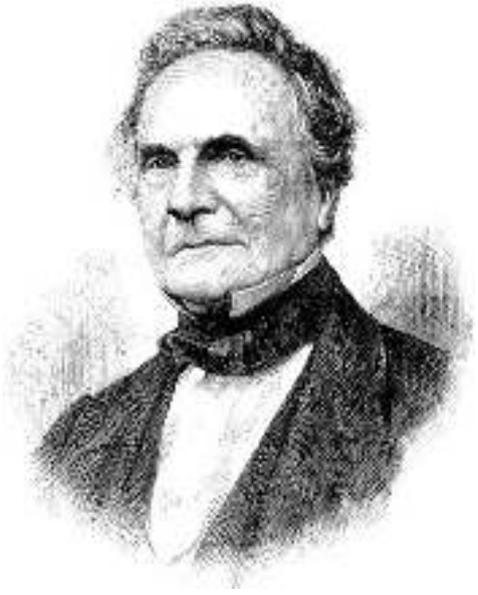
В этом году французский инженер Шарль Томас (Charles Xavier Tomas: 1785–1870) получает французский патент на созданную им вычислительную машину. В 1850 г. началось ее серийное производство. Всего было выпущено примерно полторы тысячи этих машин. Именно тогда эти машины получают название *арифмометры*. К сожалению, их производство оказалось весьма дорогим.

За исключением Парижа арифмометры не ремонтировали на месте. К тому же из-за конкуренции с французом Тома де Кальмарем (Tomá de Calmar), который тоже начал промышленное производство арифмометров, приходилось ежегодно снижать цены.

- В 1876 г. шведский инженер Вильгот Теофил Однер (Willgodt Theophil Odhner: 1845–1905) сконструировал и построил арифмометр, который после ряда модификаций в конце XIX и начале XX вв. в почти неизменном виде выпускался до 1978 г. [7,

с. 123]. В 1878 г. А. Однер получил немецкий патент¹, а годом позже шведский и русский патенты на свое изделие. Фабрика, построенная в Санкт-Петербурге в 1886 г., выпустила до 1917 г. более 30 тысяч арифмометров, снабжая ими всю Европу².

- 26 декабря 1791 г. в Лондоне в семье банкира родился создатель первой вычислительной машины с программным обеспечением Чарльз Бэббидж (Charles Babbage: 1791–1871).



Чарльз Бэббидж

В 1814 г. он получил степень бакалавра. В 1819 г. начал, а в 1822 г. закончил строительство машины для вычисления астрономических и математических таблиц (прежде всего таблиц логарифмов и таблиц тригонометрических функций). Работа машины основывалась на методе конечных разностей [10, с. 86].

Напомню, что для таблиц с равноотстоящими узлами конечные разности первого порядка – это разности между соседними табличными значениями:

$$(1.1) \quad \Delta y_0 = y_1 - y_0, \dots, \Delta y_{n-1} = y_n - y_{n-1}.$$

Разности второго порядка – это

$$(1.2) \quad \Delta^2 y_i = \Delta y_{i+1} - \Delta y_i \quad (i := 0, 1, \dots, n-2).$$

¹ В Германии аналог арифмометра Однера арифмометр «Triumphator CRN 1» в 1958 г. выглядел так же, как арифмометры, выпущенные во время Первой мировой войны. Выпускавшиеся в СССР с 1929 по 1978 г. в Пензе, Курске и Москве арифмометры «Феликс» внутренним устройством практически не отличались от «Триумфатора».

² Завод Однера в Петрограде после 1917 г. был перепрофилирован на выпуск артиллерийских приборов.

Формула для конечных разностей k -го порядка ($k > 1$) будет:

$$(1.3) \quad \Delta^k y_i = \Delta^{k-1} y_{i+1} - \Delta^{k-1} y_i, \quad (i := 0, 1, \dots, n-k).$$

Таблица 1.1

x	$f(x)$
x_0	y_0
x_1	y_1
x_2	y_2
\vdots	\vdots
x_n	y_n

Таблица 1.2

Таблица конечных разностей

x	$f(x)$	Δy	$\Delta^2 y$...	$\Delta^n y$
x_0	y_0	Δy_0	$\Delta^2 y_0$	\vdots	$\Delta^n y_0$
x_1	y_1	Δy_1	$\Delta^2 y_1$	\vdots	
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots		
x_{n-2}	y_{n-2}	Δy_{n-2}	$\Delta^2 y_{n-2}$		
x_{n-1}	y_{n-1}	Δy_{n-1}			
x_n	y_n				

Отметим, что для таблицы 1.1 разностью наивысшего порядка будет $\Delta^n y_0$.

Легко показать [10], что табличные значения y_k ($k := 1, 2, \dots, n$) можно выразить с помощью конечных разностей:

$$(1.4) \quad \begin{cases} y_1 = y_0 + \Delta y_0, \\ y_2 = y_0 + 2\Delta y_0 + \Delta^2 y_0, \dots \\ \dots\dots\dots \\ y_n = y_0 + n\Delta y_0 + \frac{n(n-1)}{2!} \Delta^2 y_0 + \dots + C_n^k \Delta^k y_0 + \dots + \Delta^n y_0 \end{cases}$$

«Малая» (так ее позже назвал Ч. Бэббидж) машина была полностью механической и состояла из шестеренок и рычагов. В ней использовалась десятичная система счисления. Она оперировала

18-разрядными числами с точностью до 8-го знака после запятой. Скорость вычисления при вычислении членов последовательности была 12 членов в 1 минуту. Малая разностная машина могла считать значения многочленов 7-й степени.

Однако память у этой машины была мала, и она не могла быть использована для больших вычислений.

Поэтому у Ч. Бэббиджа появилось желание построить большую разностную машину. Тем более что первоначально его идею поддержали материально Королевское и Астрономическое общества [7].

Большая разностная машина должна была состоять из 25000 деталей, весить около 14 тонн, ее высота была 2,5 метра. Память машины была рассчитана на хранение 1000 50-разрядных чисел. Наконец, машина должна была быть снабжена печатным устройством для вывода результатов.

К сожалению, финансовые и технические трудности не позволили Ч. Бэббиджу построить машину¹.

Для создания ее отдельных деталей Ч. Бэббидж сконструировал поперечно-строгальный и токарно-револьверный станки, придумал методы изготовления зубчатых колес. Им же был предложен метод литья под давлением и новый метод заточки инструментов. Для всех автомобилистов Ч. Бэббидж останется тем человеком, который придумал спидометр.

Неудача с большой разностной машиной заставила Ч. Бэббиджа задуматься о построении машины, которая решала бы более широкий круг задач, чем только создание таблиц. Новую машину, названную Ч. Бэббиджом *аналитической*, он начал проектировать в 1834 г.

¹ Это сделал его сын Генри, после смерти отца. Полностью большая разностная машина была достроена только в 1991 г. к 200-летию со дня рождения Ч. Бэббиджа двумя инженерами Р. Кирком (R. Kirk) и Б. Холлоуэй (B. Holloway) и хранится в Лондонском научном музее.

Архитектура этой машины должна была быть следующей:

1. Склад (store).

По современной терминологии, склад – это *память*. В ней предполагалось хранить как значения переменных, так и результаты операций.

2. Мельница (mill).

«Мельница» – это арифметико-логическое устройство (по современной терминологии – часть *процессора*), которое должно было производить операции над переменными, а также хранить в регистрах значения переменных, с которыми в данный момент осуществлялась операция.

3. Управляющий элемент (control).

Третье устройство осуществляло управление, точнее:

а) помещение переменных в «склад» и извлечение их оттуда, б) задавало последовательность операций, в) осуществляло вывод результатов операций.

При этом оно считывало последовательность операций и переменные с перфокарт.

Перфокарты делились на два вида:

- 1) операционные карты;
- 2) карты переменных.

Из операционных карт составлялась библиотека функций. Устройство ввода (считывания перфокарт) управлялось третьим устройством.

4. Устройство ввода/вывода информации.

Вывод результатов операций осуществлялся с помощью перфоратора и печатающего устройства¹.

¹ Уже в разностных машинах Ч. Бэббиджа результаты выдавливались стальным штампом на тонкой медной дощечке (Таненбаум [11, с. 30]).

Еще в 1933 г. Ч. Бэббидж знакомится с 18-летней дочерью поэта Байрона Адой (1815–1852). Мать Ады (Анна Изабелла Байрон, Anne Isabella Byron (Milbanke): 1792–1860) после развода с поэтом пожелала дать дочери математическое образование. С этой целью она пригласила для нее учителя Огастес де Моргана (Augustus de Morgan: 1806–1871), наряду с Джорджем Булем (George Boole: 1815–1864), создателем булевой алгебры.

Позже Ч. Бэббидж тактично познакомил Аду Лавлейс (Ada King Byron, Countess of Lovelace) со своими идеями создания алгоритмически универсальной аналитической машины, в которой можно было бы реализовать любой алгоритм, и которая работала бы с помощью программ.

В 1842 г. будущий (9-й) итальянский премьер-министр, а тогда профессор механики в военной академии и университете в Турине Луидже Менабреа (Federigo Luigi Conte Menabrea: 1809–1896) публикует на французском языке восторженную статью об аналитической машине. Ада ее переводит со своими комментариями. (Статья Л. Менабреа насчитывала 20 стр., а комментарии Ады – 50 стр.) В этом переводе впервые появились понятия: подпрограмма, библиотека¹ подпрограмм, модификация команд, индексный регистр, рабочая ячейка, цикл. В числе прочего в письме Ч. Бэббиджу [12] Ада пишет, что составила программу вычисления чисел Я. Бернулли (Bernoulli Jacob: 1654–1705).



Луидже Менабреа

¹ Термин «библиотека» предложил Ч. Бэббидж.

Напомним [13, с. 497], что числа Я. Бернулли появились в связи с вычислением суммы одинаковых степеней натуральных чисел:

$$(1.5) \quad \sum_{k=0}^{m-1} k^n = \frac{1}{n+1} \sum_{s=0}^n C_{n+1}^s B_s m^{n+1-s},$$

где $n := 0, 1, 2, \dots$; $m := 1, 2, \dots$

При этом $B_0 = 1$, $B_1 = \frac{-1}{2}$, $B_2 = \frac{1}{6}$, $B_3 = 0$, $B_4 = \frac{-1}{30}$, $B_5 = 0$, $B_6 = \frac{1}{42}$, $B_7 = 0, \dots$, $B_{12} = \frac{174611}{330}$ (т. е. все нечетные равны тождественно 0, кроме B_1).

Можно получить эти числа и с помощью разложения:

$$(1.6) \quad \frac{x}{e^x - 1} = 1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\beta_n}{n!} x^n,$$

при этом

$$(1.7) \quad \beta_{2n} = +B_n (-1)^{n-1}; \beta_{2n+1} \equiv 0, n := 1, 2, \dots$$

Отметим, что первоначально Ч. Бэббидж поставил Аде Лавлейс задачу составить программы для табулирования последовательностей, т. е. фактически для разностных машин.

Заметим также, что математик, астроном и химик Джон Гершель¹ (John Frederick Herschel: 1792–1871), друг Ч. Бэббиджа, перевел для последнего книгу (1786 года издания) военного инженера Иоганна Г. Мюллера для вычисления арифметической прогрессии и печатания ее результатов².

Заметим также, что, как мы бы теперь сказали, для отладки своей малой разностной машины Ч. Бэббидж ездил в Париж для сравнения с двумя экземплярами (в 17 томах) десятичных логарифмов.

¹ Д. Гершель был сыном великого английского астронома Уильяма Фридриха Гершеля (Fridrich Wilhelm Herschel: 1738–1822), родившегося в Германии.

² Экземпляр машины И. Мюллера хранится в Земельном музее Хессии в Дармштадте.

рифмических и тригонометрических таблиц, созданных¹ под руководством барона Гаспара Прони (Gaspard de Prony: 1755–1839) большой группой вычислителей, и хранившихся при Парижской обсерватории.

§ 3. Аналоговые компьютеры

Аналоговым компьютером называют аналоговую вычислительную машину (АВМ), которая представляет числовые данные при помощи аналоговых физических переменных (скорость, длина, напряжение, ток, давление и др.) [16].

В сущности, аналоговым компьютером можно назвать «антикитерский механизм» и логарифмическую линейку. Первые аналоговые компьютеры были механическими, т. е. в них переменные воспроизводились механическими перемещениями. Представление числа в «антикитерском механизме» – это число поворотов шестеренок механизма.

Между 160 и 125 г. до н. э. вел исследования неба один из основоположников астрономии Гиппарх (Hipparchus: (190; 120 гг. до н. э.)). Ему приписывают создание астролябии, состоявшей из системы армиллярных сфер (планисфер), позволявшей с большой точностью измерять углы с диоптрами². С помощью астролябии Гиппархом был составлен каталог 1022 звезд³, им же впервые были введены координаты точки на земной поверхности: широта и долгота.

¹ При участии таких математиков, как Адриен Лежандр (Adrien-Marrie Legendre: 1752–1833) и Лазар Карно (Lazare Carnot: 1753–1823).

² Диоптры – приспособление для визирования.

³ В 4 в до н. э. китайский астроном Ши Шэнь составил каталог 800 звезд [14, с. 75; 15].

Живший на рубеже первого тысячелетия н. э. великий хорезмский ученый Ал-Бируни (973–1048) инициировал создание первого механического лунно-солнечного календаря.

В 1206 г., живший в Месопотамии ученый, изобретатель, математик и астроном Ал-Джазари (Al-Jasari: 1136–1206) изобрел башенные и астрономические часы, позволившие демонстрировать зодиак, солнечную и лунную орбиты. Эти часы можно было бы назвать первым программируемым аналоговым компьютером¹.

Уже упоминавшийся выше Ч. Бэббидж создал спидометр, фактически аналоговый компьютер. Автомобильная автоматическая трансмиссия является примером гидромеханического аналогового компьютера, в котором при изменении вращающего момента жидкость в гидропроводе меняет давление [7–9].

Современная компьютерная графика ведет свое начало от номографии – раздела математики, в котором изучаются способы представления функциональной зависимости. Чертежи, получающиеся при этом, называются номограммами. Так вот, номограммы – это специализированные счетные приспособления.



Якоб Амслер-Лаффон

Приборы, помогающие вычерчивать номограммы, называют номографами – это фактически аналоговые компьютеры. Впервые номограммы и (почти одновременно) номографы появились на рубеже XVIII и XIX вв. при решении задач навигации.

- В 1814 г. немецкий инженер И. Герман (Hermann Johann Martin) создал планиметр, аналоговое устройство, дающее возможность находде-

¹ Hill D. R. *Mechanical Engineering in the Medieval Near East* // Scientific American. – 1991. – May. – P. 64–69.

ния площади плоской фигуры, ограниченной замкнутой кривой¹. На основе этого планиметра швейцарец Якоб Амслер-Лаффон (Amsler-Laffon Jakob: 1823–1912) создал (в 1954 г.) полярный планиметр, существенно не изменившийся с тех пор.

- В 1878 г. уроженец² Российской империи поляк Бруно Абданк-Абаканович (Abdank-Abakanowicz Bruno: 1852–1900) разработал проект интеграфа (патент 1880 г.) – аналогового интегрирующего устройства, позволявшего находить площадь (определенный интеграл) под графиком функции³.

В 1904 г. будущий академик (с 1916 г.) Алексей Николаевич Крылов (1863–1945) изобрел первую аналоговую механическую вычислительную машину, решавшую дифференциальные уравнения, применявшиеся при проектировании морских судов.

- Более совершенная версия АВМ (Differential Analyser) появилась в Массачусетском технологическом институте в 1927 г. (а в 1942 г. – ее электромеханическая версия) благодаря Венниверу Бушу (Vannevar Bush: 1890–1974) –



Бруно Абданк-Абаканович



А. Н. Крылов

¹ Более точно – кривой Жордана.

² Родился недалеко от г. Вильно (Вильнюс) (тогда Российская империя). Окончил Политехнический институт в Риге.

³ Bruno Abdank-Abakanowicz. *Les integrales. La courbe integrale et ses applications*. – Paris: Gauthier-Villars, 1886.



Веннивер Буш

первому руководителю проекта «Манхэттэн» – создания первой атомной бомбы. Произведенный В. Бушем аналоговый компьютер применялся при расчете траектории стрельбы корабельных орудий (см. также ниже, конец § 14).

В заключение этого раздела приведем хронологический перечень других вычислительных машин (см. [7; 8; 16; 17]):

– 1666 г. Суммирующее и множительное устройство сэра С. Морленда (Morland Samuel: 1625–1695)¹ [Великобритания].

– 1668 г. Описание множительного устройства² немецкого ученого А. Кирхера (Athanasius Kircher: 1602–1680) в книге К. Шотта (Kaspar Schott: 1608–1666) «Математический инструмент» («Organum mathematicum») [Германия].

– 1700 г. Публикация книги французского ученого, математика, архитектора, доктора медицины Клода Перро (Claude Perraut: 1613–1688) «Трактат о механике»³ с описанием среди прочих изобретенной им суммирующей машины, в которой вместо зубчатых колес (предыдущих изобретателей суммирующих машин) представлены зубчатые рейки, что существенно уменьшило размеры суммирующего устройства [Франция].

¹ Dickinson H. W. *Sir Samuel Morland: Diplomat and Inventor, 1625–1695*. – Cambridge: The Newcomen Soc., 1970.

² Экземпляр этого устройства есть в Немецком музее Мюнхена.

³ С подзаголовком: «Сборник большого числа машин изобретения». Отметим также, что французский писатель, известный во всем мире своими сказками, – Шарль Перро (Charles Perraut: 1628–1703), – был младшим братом К. Перро.

– 1725 г. Суммирующая машина Х. Л. Герстена (Christian Ludwig Gersten: 1701–1762). В машине Х. Л. Герстена удачно сочетались зубчатые колеса и рейки для операций с семиразрядными числами. В ней имелся и одноразрядный счетчик числа сложений и вычитания [Германия].

– 1763 г. Суммирующая машина Жана Лепэна (Lépine Jean-Antoine: 1720–1814), придворного механика и часовщика Людовика XIV в конце его правления. Эта машина использовалась для подсчета денег: 10 разрядов – для ливров, 2 разряда – для су и денье. Новым (по сравнению с предыдущими машинами) было наличие 2-х регистров для записи промежуточных результатов [Франция].

– 1841 г. Суммирующая машина доктора Давида Рота (David (Didier) Roth: 1800–1885)¹. (Из-за антисемитизма в Венгрии в тот период Д. Рот вынужден был эмигрировать во Францию, где в свободное от врачебной практики время создает приборы, в том числе и вычислительный) [Франция].

– 1853 г. Разностная машина Г. Шейца (Pehr George Sheutz: 1785–1873) и его сына Э. Шейца (Edward George Sheutz: 1821–1881) с печатающим устройством [Швеция].

– 1863 г. Разностная машина Мартина Виберга (Martin Wiberg: 1826–1905) [Швеция].

– 1876 г. Разностная машина Джорджа Гранта (George Grant: 1849–1917) [САСШ – Северо-Американские Соединенные Штаты – так назывались тогда США].

– 1888 г. Суммирующая машина с печатающим устройством Уильяма Барроуза (William Seward Burroughs: 1857–1898). В 1892 г. клавишный калькулятор Барроуза будет иметь коммерческий успех [САСШ].

¹ Brody J. *An émigré physician: Dr. David (Didier) Roth, homeopath, art collector, and inventor of calculating machines* // *Journal of Medical Biography*. – 8 (2000). – P. 215–219.

– 1887 г. Электромеханический табулятор Германа Холлерита (Herman Hollerith: 1860–1929)¹. В 1896 г. Г. Холлерит основал компанию IBM [САСШ].

– 1887 г. Первая клавишная суммирующая машина Д. Феллта (Dorr E. Feltt), названная «комптометром» (comptometer) [САСШ].

– 1888 г. Множительная машина Леона Болле (Leon Bolles: 1869 – 1913) [Франция].

– 1889 г. Арифмометр Дж. Эдмондсона (Joseph Edmondson: 1853–1927), в котором соединены колесо Однера и вал Лейбница (в серию, однако, эта машина не пошла) [Великобритания].

– 1893 г. Множительная машина «Миллионер» Отто Штайгера (Otto Steiger: 1858–1923). Свое применение эта машина нашла в Австралии [Швейцария].

– 1902 г. Десятиклавишная суммирующая машина Г. Гопкинса (Hubert H. Hopkins) [САСШ].

– 1905 г. Арифмометр «Мерседес-Евклид» с пропорциональным рычагом Г. Гамана (Henryk Hamann: 1864–1936) [Германия].

– 1908 г. Усовершенствованный табулятор Холлерита (с использованием контактных щеток вместо чашечек с ртутью) [САСШ].

– 1909 г. Проект аналитической машины П. Ладгейта (Percy Ludgate: 1883–1922) [Ирландия].

– 1910 г. Механический табулятор Дж. Пауэрса (James Powers: 1870–1927) (отметим, что Д. Пауэрс родился и до 18 лет жил в Одессе) [САСШ].

– 1912 г. Машина Дж. Монро (Monroe Joe R.: 1883–1937) с автоматизацией выполнения четырех арифметических действий [САСШ].

¹ Austrian G. D. *Herman Hollerith: The Forgotten Giant of Information Processing*. – Columbia, 1982.

– 1914 г. Универсальная автоматическая вычислительная машина на электромеханических реле испанского инженера и математика Леонардо Торрес-Кеведо (Leonardo Torres-Quevedo: 1852–1936). Эта машина демонстрировалась на Всемирной выставке в Париже в 1914 г., она же «умела» решать некоторые шахматные окончания [Испания].

– 1931 г. Начато производство электромеханических табуляторов «Бюллер» («Bull») [Франция].

– 1931 г. Начато производство множительных перфораторов IBM-600, созданных Дж. Брайса (J. Brysa: 1880–1949) [США].

– 1933 г. Разностная машина астронома из Новой Зеландии Лесли Комри (Leslie J. Comrie: 1893–1950)¹ [Великобритания].

– 1934 г. Начато производство алфавитного табулятора IBM-405 [США].

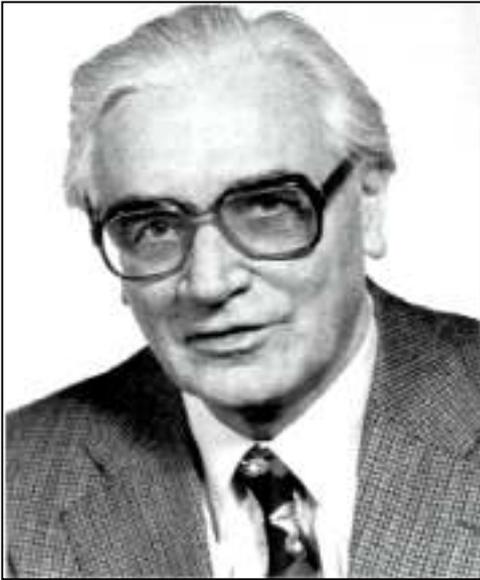
§ 4. Почти первое поколение компьютеров

В этом параграфе пойдет речь о компьютерах на электромагнитных реле² и электронных лампах – предшественниках компьютеров с архитектурой фон Неймана. Подробнее будут рассмотрены компьютеры К. Цузе, история компьютера «Colossus», компьютер Д. Стибица, компьютер ABC (Атанасова-Берри), компьютер Harvard Mark 1 (Г. Айкена).

¹ Comrie L. J. *Modern Babbage Machines*. – *Bullet. of The Office Machinery Users' Association*. – London, 1933. – 29 p.

² Напомним, что электромеханическое реле было изобретено в 1834 г. американцем Д. Генри (Joseph Henry: 1797–1878) и итальянцем Сальваторе даль Негро (Salvatore dal Negro: 1768–1839).

Colombini G. *Salvatore dal Negro // Professori di materi scientifiche all'Università di Padova nell'Ottocento*. – Padova: Univ. di Padova, 1986.



Конрад Цузе

В заключение будет рассмотрена схема вычислительной машины Дж. фон Неймана и даны сравнительные характеристики вычислительных машин, рассмотренных в этом параграфе.

Конрад Цузе (Zuse Konrad Ernst Otto: 1910–1995) родился в 1910 г. в Берлине. В 1935 г., окончив Берлинскую высшую техническую школу, поступил на авиационный завод Хейнкель в г. Дессау. Через год уво-

лившись, он вернулся к своей идее студенческих лет – создания программируемой счетной машины. Довольно быстро он пришел к выводу, что удобнее создавать машину с двоичной системой счисления. В 1938 г. появилась такая машина, представлявшая механический вычислитель с электрическим приводом и возможностью (хотя и ограниченной) программирования при помощи клавиатуры. Результат (уже в десятичной системе) высвечивался на ламповой панели. Названа эта машина была Z1.

В 1939 г. Цузе был призван в армию, но в итоге попал в отдел, занимавшийся созданием управляемых ракет.

В 1940 г. Цузе доработал свою версию Z1 на основе телефонных реле и назвал ее Z2. Кроме того, Z2 считывала инструкции на основе перфорированной 35-миллиметровой киноплёнки. В 1941 г. Цузе в рамках созданной им компании «Zuse Apparatenbau» создал новую модель Z3. Эту модель многие считают *первым реально действовавшим программируемым компьютером*. Более того, Z3 использовался не только для управления ракетами (точнее их головными частями), но и для проектирования крыла самолета.

Отметим, что, как доказал в 1998 г. Рауль Рохас (Raul Rojas: 1955), Z3 была машиной полной¹ по Тьюрингу.

В 1944 г. все три машины Z1, Z2, Z3 были уничтожены в ходе бомбардировок Берлина. В начале 1945 г. новая, не вполне законченная, машина Z4 была перевезена в Баварию. Для нее Цузе успел разработать *первый в мире* высокоуровневый язык программирования, названный им Plankalkül (= исчисление планов).

При поддержке Швейцарской высшей технической школы и компании IBM в 1950 г. Z4 была закончена и продана в Цюрих в Европейскую техническую высшую школу. Это был *первый* (и единственный) работающий компьютер в *континентальной* Европе (и первый в мире проданный компьютер).

Отметим, что компьютер Z2 был первым в мире компьютером на магнитных носителях, уже в Z3 в арифметическом устройстве использовалась плавающая запятая.

В патенте² 1936 г. К. Цузе упоминал, что машинные команды могут храниться в той же памяти, что и данные, тем самым, за несколько лет до оглашения известных принципов Дж. фон Неймана, Цузе высказал положение³, являющееся неотъемлемой частью того, что называется «архитектурой фон Неймана».

Остановимся теперь на первом в мире электронном цифровом компьютере, который в силу наложенных условий секретности (на 30 лет) оставался практически неизвестным до 1973 г., и, следовательно, не мог повлиять на развитие компьютеров. История создания этого компьютера связана с постройкой в Германии еще в феврале 1918 г. Артуром Шербиусом (Arthur Scherbius:

¹ Rojas R. *How to make Konrad Zuse's Z3 a universal computer* // IEEE. Annals of the History of Computing. – Vol. 20. – Nr. 3 (1989). – P. 51–54.

² Zuse K. Patent Z 23139 / GMD Nr 005 / 021: 1936.

³ Это положение впервые было реализовано в британском EDSAC в 1949 г.

1878–1929) шифровальной машины ENIGMA¹, использовавшейся в дипломатической работе.

К 1939 г. Польша сумела добыть экземпляр ENIGMA, а существовавшая к тому времени группа польских математиков-дешифровщиков² сумела разобраться в методах дешифровки текстов, передаваемых с помощью ENIGMA.

В июле 1939 г. 5 валиков ENIGMA и методы дешифровки текстов были переданы англичанам (недалеко от Варшавы): дешифратору Дилвину Кноксу (Dillwin Knox: 1884–1943) и руководителю морской разведки Великобритании Алестеру Деннистоуну (Alastair Denniston). Для того чтобы достаточно быстро проводить дешифровку немецких сообщений, британское правительство решило создать вычислительную машину, способную заменить десятки (или даже сотни) вычислителей и которую обслуживал бы небольшой штат для сохранения секретности.

В качестве основных руководителей работы были выбраны Алан Тьюринг (Alan Mathison Turing: 1912–1954)³ и Гордон Уэлчмэн (Gordon Welchman: 1906–1985). Позже, в 1941 г., для армейской связи высокого уровня немцы разработали серию телеграфных шифровальных систем «Lorenz SZ 40/42». Первые перехваты этих машин были зафиксированы в конце 1941 г. Уже через год и 11 месяцев (на рубеже 1942–1943 гг.) англичанам удалось создать машину «Colossus» для взлома этих систем.

¹ Предшественницей ENIGMA был шифратор Джефферсона, спроектированный третьим президентом (1801–1809) США, ученым по призванию (Джефферсон Томас (Jefferson Thomas: 1743–1826)).

² В эту группу входили Мариан Реевски (Marian Rejewski: 1905–1980), Ежи Ружицки (Jerzy Różycki: 1909–1942) и Генрих Зыгальски (Henryk Zygałski: 1908–1978). Передал части машины и документы к ней полякам немецкий шифровальщик Ганс Шмидт (Hans-Thilo Schmidt), погибший в гестаповских застенках в 1943 г.

³ Причина смерти Алана Тьюринга от отравления цианидом стыдливо замалчивается. С 1952 г. началась травля А. Тьюринга в силу его нетрадиционной ориентации.

Руководил группой дешифровщиков, создававших программу для Colossus, профессор Макс Ньюмэн (Max Newman: 1987–1984), один из создателей алгебраической топологии¹. Основную работу по строительству «Colossus» выполнил английский инженер Томми Флауэрс (Tommi Flowers: 1905–1998).

«Колосс» стал первым полностью электронным² вычислительным устройством. Ввод информации осуществлялся с перфоленды. Однако «Колосс» не был «тьюринг-полной» машиной, хотя его можно было настроить на выполнение различных операций булевой логики.

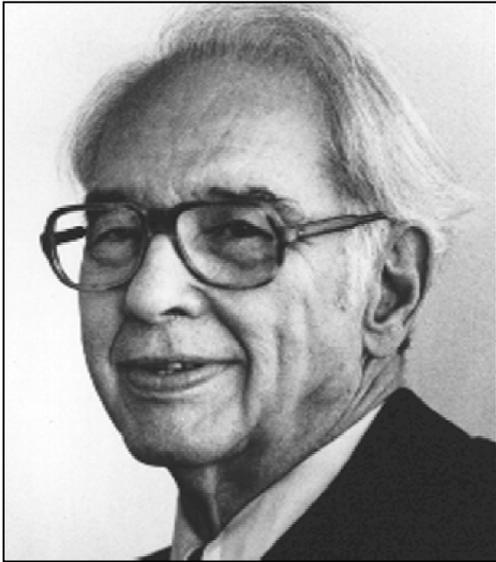
В этой связи отметим, что еще в 1937 г. Клод Шеннон (Claude Elwood Shannon: 1916–2001) показал, что существует взаимно-однозначное соответствие между формулами булевой логики и электронными схемами, получившими название «логические вентили» [126]³.

Исследования К. Шеннона послужили основой для проектирования Джоржем Стибицом (George Stibitz: 1904–1995) в Bell Labs компьютера «Модель К» на основе релейных переключателей. В январе 1940 г. была закончена постройка Complex Number Calculator, умеющего выполнять вычисления над комплексными числами. Отметим, что на демонстрации своего компьютера Американскому математическому обществу (11 сентября 1940 г.) в Дартмутском колледже Дж. Стибиц управлял компьютером дистанционно по телефонной линии с телетайпом.

¹ К тому времени Макс Ньюмэн решил 5-ю проблему Гильберта для специального случая. В 1949–1951 гг. он являлся Президентом Лондонского математического общества. О работе М. Ньюмэна по использованию «Colossus» стало известно только незадолго до его смерти.

² Первую электронную лампу создал в 1883 г. Томас Альва Эдисон (Thomas Alva Edison: 1847–1931). Эта лампа была двухэлектродной. В 1906 г. американский ученый Ли де Форест (Lee de Forest: 1873–1961), добавив сетку между электродами, изобрел триод.

³ О работах К. Шеннона, а также о работах В. И. Шестакова в 1935–1936 гг. см. подробнее ниже в § 14.



Джон В. Атанасов

А теперь несколько слов о создателях первого в мире электронного цифрового компьютера: Джоне Винценте Атанасове (John Vincent Atanasoff: 1903–1995) и Клиффорде Берри (Clifford E. Berry: 1918–1963) (см. [19]).

Дж. Атанасов родился в Хамилтоне (Нью-Йорк) в семье инженера-электрика и учительницы математики. Его отец Иван Атанасов был эмигрантом из Болгарии. В 1925 г.

Дж. Атанасов получает степень бакалавра по электроинженерии в университете штата Флорида, годом позже – степень магистра в университете штата Айова (в Эймсе), а Ph. D. по теоретической физике в 1930 г. в университете штата Висконсин г. Мэдисон. После чего Дж. Атанасов становится профессором математики и физики колледжа штата Айова (в Эймсе). Там Дж. Атанасов изучает возможности применения в научных исследованиях калькулятора Д. Монро (Monroe calculator) и табулятора фирмы IBM. В 1936 г. вместе со своим коллегой физиком Гленом Мерфи (Glen Murphy) Атанасов строит малый аналоговый калькулятор, названный «Лапласометром» (Laplaciometer). Этот калькулятор он использует для анализа некоторых многогранных¹ разверток, многогранников.

В 1937 г. у Дж. Атанасова созревает идея строительства электронного цифрового компьютера. В 1939 г. он получает грант (\$ 650), из которых \$ 450 предназначены магистранту Клиффорду

¹ В 1965–1967 гг. в СССР В. А. Залгаллер (р. 1920) с помощью ЭВМ получает описание всех выпуклых многогранников с правильными гранями (см. [18]).

Берри (Berry Clifford Edward: 1918–1963)¹. Год спустя (в декабре 1940 г.) Дж. Атанасов знакомится в Филадельфии с Джоном Моучли (John Mauchly: 1907–1980) во время демонстрации последним своего «гармонического анализатора» и приглашает Дж. Моучли посмотреть на только что законченный цифровой электронный компьютер.



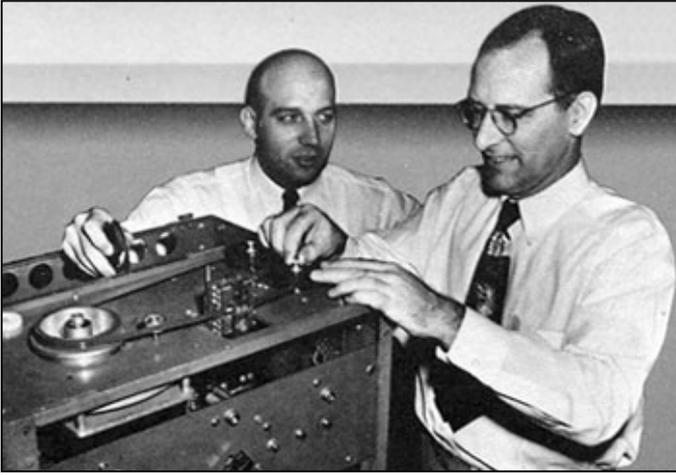
Клиффорд Берри

15 января 1941 г. компьютер, названный ABC (электрическая счетная машина с 300 вакуумными трубками), демонстрирует решение сложных алгебраических уравнений. В июне 1941 г. Моучли посещает Атанасова в Вашингтоне и получает подробную схему ABC. (До этого Атанасов посылает документы в Чикаго патентному поверенному для регистрации патента на свой компьютер.)

Д. Моучли четыре дня изучает ABC и просит дать ему кроме схемы подробное описание ABC. Позже при строительстве ENIAC он несколько раз встречается с Атанасовым, консультируясь по поводу постройки ENIAC (вместе с Джоном П. Эккертом (John Presper Eckert: 1919–1995)). Джону Атанасову при создании компьютера в качестве помощника был рекомендован профессором-электротехником Гарольдом Андерсоном (Harold W. Anderson) Клиффорд Берри. Он был лучшим студентом у Г. Андерсона и под руководством последнего стал бакалавром. В 1941 г. Берри становится магистром физики. В 1948 г. он получает ученую степень Ph. D. по физике. Позже работает в С.Е.С.² (до 1963 г.), дойдя до должности ее технического директора.

¹ Клиффорд Берри родился и вырос в Айове.

² С.Е.С. = Consolidated Engineering Corporation (Пасадена, Калифорния).



Джон П. Эккерт и Джон Моучли

Покинув в октябре 1963 г. С.Е.С. и заняв пост руководителя подразделения в Vacuum Electronics Corporation в Нью-Йорке, он внезапно умирает.

Вернемся снова в 1941 г. 7 декабря этого года Япония без объявления войны напала на военно-морскую

и авиационную базу США на Гавайских островах, называвшуюся Перл-Харбор. Разгром американских сил при Перл-Харбор выявил, в первую очередь, недостатки тяжелой береговой артиллерии при нацеливании на корабли противника. Нужны были артиллерийские таблицы и сотни женщин-вычислителей.

Профессор Д. Моучли, который как мы уже знаем, познакомился с компьютером ABC еще в 1941 г., добился у Армии США в 1943 г. денег на создание компьютера, решавшего эту задачу. Приступил Д. Моучли к созданию ENIAC со своим лучшим студентом Дж. Проспером Эккертом и целой группой помощников в Пенсильванском университете.

В 1945 г. прошли успешные испытания ENIAC, а полностью работа была завершена в феврале 1946 г. Как известно, создание ENIAC¹ (в течение 3-х лет) спонсировала Баллистическая Исследовательская Лаборатория Американской Армии. Она же привлекла к проекту ENIAC, по крайней мере на один год, Джона фон Неймана, работавшего над созданием бомбы в Лос-Аламосе. При этом Джон фон Нейман предлагал сделать ENIAC одноадресной, но доктор Ричард Клиппингер (Richard Frederick Clippinger: 1913–1997) настоял на трехадресности ENIAC. Про-

¹ ENIAC = Elektronik Numeral Integrator and Computer.

граммное обеспечение для ENIAC – заслуга 6 женщин-математиков: К. Макналти (Kay McNulty), Б. Дженнингс (Betti Jennings), Б. Снайдер (Betti Snyder), М. Уэскофф (Merlin Wescoff), Ф. Билас (Fran Bilas) и Р. Лихтерман (Ruth Lichterman).

Первоначально машина ENIAC содержала 18000 вакуумных ламп, 1500 реле, весила 30 тонн.

Ее существенными недостатками были:

а) отсутствие памяти, точнее, отсутствие хранимой программы;

б) постоянные ремонтные работы, т. к. за день работы выходили из строя десятки вакуумных ламп.

С первым недостатком удалось справиться к 1948 г., введя специальную память. Второе было долго бичом машины, однако выход, хотя и временный, был в том, что основная программа была нацелена на решение только одной задачи, а время между ремонтами позволяло решить ее.

Уже по окончании испытаний ENIAC в 1946 г. Моучли и Эккерт были объявлены СОЗДАТЕЛЯМИ ПЕРВОГО цифрового электронного компьютера. И только 27 лет спустя (в 1973 г.) в ходе длительнейших судебных процессов справедливость восторжествовала: создателями первого электронного цифрового компьютера признаны Дж. Атанасов и К. Берри. (Последний, как мы знаем, не дожил до этого дня.)

На дальнейшее создание и использование ЭВМ большое влияние оказал четырехдневный симпозиум в Кембридже (штат Массачусетс, США), проходивший 7–10 января 1947 г. (Symposium on Large Scale Digital Calculating Machinery), на котором выступил целый ряд крупнейших ученых США. В их числе: Г. Айкен, Р. Курант, В. В. Леонтьев, Г. Радемахер, Дж. Стибитц, Дж. Моучли и др.

Оценив и переработав идеи Эккерта и Моучли при создании ENIAC, привлеченный для работы великий американский математик Джон фон Нейман (John (Janos) von Neumann: 1903–1957) написал отчет, описывающий проект компьютера (EDVAC (Electronic Discrete Variable Computer)). В нем предлагалось программу и данные хранить в единой универсальной памяти.

Кроме того, Джон фон Нейман выдвинул в своем отчете ряд принципов при построении компьютеров, которые теперь известны под названием «архитектура фон Неймана». Эти принципы и послужили фундаментом для разработки гибких, универсальных цифровых компьютеров. Об этих принципах мы расскажем при рассмотрении машины фон Неймана.

Вернемся теперь на несколько лет назад к одному из создателей аналоговых компьютеров Говарду Айкену (Howard Aiken: 1900–1973), чей доклад (1947), вместе со статьей Германа и Адель Гольдштейнов (1946)¹, послужил катализатором строительства в СССР первой ЭВМ [20].



Говард Айкен

Говард Айкен работал перед Второй мировой войной в Гарварде. Он в рамках своей докторской диссертации разрабатывал аналитические счеты. В качестве образца он взял аналитическую машину Ч. Бэббиджа, заменив зубчатые колеса, использованные Ч. Бэббиджем на реле. В устройствах ввода-вывода им использовалась перфолента. Работа была закончена в 1944 г. Компьютер был назван

¹ Goldstein H. and Goldstein A. *The Electronic Numerical Integrator and Computer (ENIAC)*, 1946 (reprinted in *The Origins of Digital Computers: Selected Papers*. Springer, New York, 1982. – P. 359–373).

«Гарвард Марк-1»¹. Он «имел» в памяти 72 слова по 23 десятичных разряда каждое и мог выполнить любую команду за 6 секунд. Габариты «Марка-1» были внушительны: 15 м длина, 2,5 м высота.

В последующие два года была закончена работа над компьютером «Марк-2», содержащем как реле, так и вакуумные лампы. На упоминавшемся выше симпозиуме в Кембридже (7.01.1947 – 10.01.1947) Говард Айкен рассказал о «Марке-1», «Марке-2» и курсе лекций², который читался в Гарварде.

Интересно, что уже на этом симпозиуме Г. Айкен высказал мысль, что «настанет время, когда вместо теперешних гигантских по размерам машин, гораздо более мощные и быстродействующие машины будут уместаться в обувной коробке». Кроме того, аппаратные средства будут дешеветь, а программные средства – становиться дороже. Хотя на симпозиуме в Кембридже не было Джона фон Неймана, его идеи по архитектуре компьютера так или иначе обсуждались³.

Напомним, что цифровой компьютер, по мнению фон Неймана, должен состоять из 5 частей: памяти, арифметико-логического устройства, устройства управления и устройств ввода и вывода.

Отметим, что в современных компьютерах арифметический блок и блок управления сочетаются в одной микросхеме, называемой центральным процессором.

Внутри арифметико-логического устройства находится особый внутренний регистр, называемый аккумулятором. Типичная команда добавляла слово из памяти в аккумулятор или сохраняла

¹ Не путать с «Ferrari Mark 1» – компьютером, изготовленным в феврале 1951 г. в Манчестерском университете (Manchester Electronic Computer).

² Aiken H. *Organization of digital calculating machinery* // *Annals of the Computation Laboratory of Harvard University*. – Vol. XXVII (1947/48).

³ Все 34 доклада были опубликованы в *Annals of the Computation Laboratory of Harvard University*.

в целом содержимое аккумулятора. Следует сказать, что Дж. фон Нейман не планировал для своей машины выполнение арифметических команд с плавающей точкой (= запятой). Наконец, что немаловажно, Дж. фон Нейман считал, что в машине должна использоваться бинарная (= двоичная) арифметика.

Конец 40-х гг. XX столетия характеризуется взрывным интересом к созданию цифровых вычислительных машин.

Очень коротко скажем о некоторых. Моучли и Эккерт после 1946 г. модернизировали ENIAC (1948), а затем начали работу над машиной EDVAC (Electronic Discrete Variable Computer), но после их ухода проект закрыли.

Дж. фон Нейман, который консультировал и проект EDVAC, поехал в Принстон и сконструировал собственную версию EDVAC под названием IAS (Immediate Address Storage – память с прямой адресацией) (1952).

В 1949 г. появилась машина EDSAC (= Electronic Delay Storage Computer). Ее сконструировал Морис Уилкс (Maurice Vincent Wilkes: 1913–2010)¹ из Кембриджского университета. EDSAC был первый в мире компьютер с хранимой в памяти программой².

В корпорации Rand была построена JOHNIAC (1953), копия компьютера Дж. фон Неймана.

В университете Иллинойс – ILLIAC-1 (1952 г.);

в лаборатории Лос-Аламоса – MANIAC-1 (1952 г.);

в институте Вейцмана в Израиле – WEIZAC (1955 г.);

в университете Манчестера – «Малыш» (июнь 1948 г.) и Manchester Mark 1 (октябрь 1949 г.);

в Австралии – CSIRAC (ноябрь 1949 г.).

Сравнительные характеристики этих машин приведены ниже:

¹ Подробнее о Моррисе Уилксе см.: введение к главе VIII.

² Постоянное запоминающее устройство (ПЗУ) появится на EDSAC-2 (1953).

<i>Имя</i>	<i>Начало работы</i>	<i>Числовая система</i>	<i>Механизм вычислений</i>	<i>Полнота по Тьюрингу</i>
Zuse Z3 (Германия)	Май 1941	Двоичная, плавающая запятая	Электро- механич.	Да (1998)
ABC (США)	1942	Двоичная	Электрон.	Нет
Colossus Mark 1 (Великобритания)	Февраль 1944	Двоичная	Электрон.	Нет
Harvard Mark 1 (США)	Май 1944	Десятичная	Электро- механич.	Нет
Colossus Mark 2 (Великобритания)	Июнь 1944	Двоичная	Электрон.	Нет
Zuse Z4 (Германия)	Март 1945	Двоичная, плавающая запятая	Электро- механич.	Да
ENIAC (США)	Июль 1946	Десятичная	Электрон.	Да
Manchester SSEM («Baby») (Великобритания)	Июнь 1948	Двоичная	Электрон.	Да
Модерниз. ENIAC (США)	Сен- тябрь 1948	Десятичная	Электрон.	Да
EDSAC (США)	Май 1949	Двоичная	Электрон.	Да
Manchester Mark1 (Великобритания)	Октябрь 1949	Двоичная	Электрон.	Да
CSIRAC (Австралия)	Ноябрь 1949	Двоичная	Электрон.	Да

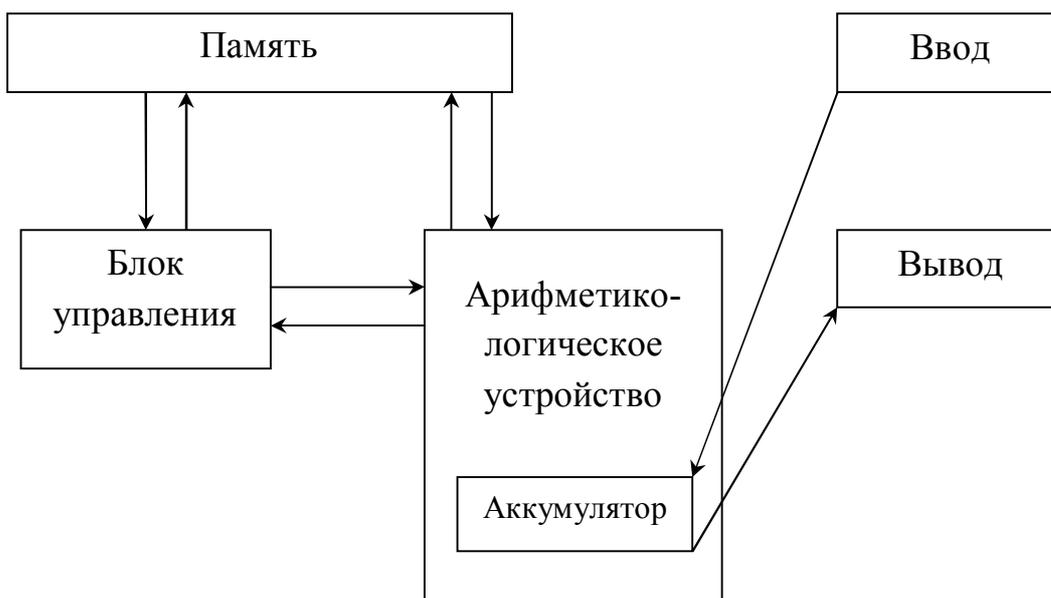


Рис. 4.1. Схема вычислительной машины Дж. фон Неймана

§ 5. История создания компьютеров в России (до 1948 г.)

История компьютеров в России – речь пойдет только о создании компьютерной техники – начинается во второй половине XVIII в. Весь период: 1764¹–1953 гг. мы поделим на 3 части: 1764–1917 гг., 1917–1946 гг., 1947–1953 гг.

О трех творцах первого периода (1764–1917), подданных Российской Империи: Вильготе Теофилле Однере (1845–1905), Бруно Абданк-Абакановиче (1852–1900) и Алексее Николаевиче Крылове (1863–1945), повлиявших на общемировое развитие компьютерной техники, уже было сказано ранее.

¹ Заметим, что 1764 г. как начало периода создания компьютерной техники в России выбран не случайно. Именно воцарение Екатерины II стало временем резкого роста потребностей в вычислениях, прежде всего для нужд армии. Екатерина II хорошо знала, что величайший математик XVIII в. Леонард Эйлер (1707–1783) потерял зрение при составлении таблиц для артиллерийской стрельбы.

Сейчас же мы остановимся на менее известных достижениях.

- В 1770 г. часовым мастером и механиком Евлой Якобсоном была изобретена и построена механическая счетная машина, позволявшая складывать, вычитать, умножать и делить числа от 1 до «1000 миллионов», а остающееся от деления можно здесь же расчленить на дроби. Сама машина имела размеры: 34.2×21.8×3.4 см. Она находится ныне в музее М. В. Ломоносова (г. Санкт-Петербург). О мастере Е. Якобсоне известно, что он жил и работал в г. Несвиж (≈100 км юго-западнее Минска)¹. Добавим, что эта часть Белоруссии вошла в состав Российской Империи в результате разделов Польши именно при Екатерине II.

Отметим, что в машине Якобсона нет специального механизма для умножения, но эту операцию можно производить путем повторного сложения. Деление выполняется как последовательное вычитание с фиксацией количества вычитаний. Следует отметить компактность всего механизма – узлы соседних разрядов расположены на разных уровнях. Использование полудиска со ступенчатыми зубьями также оригинально решает проблему передачи и установки чисел [7].

- В 1813 г. еще один часовых дел мастер Абрахам Штерн (Abraham Jakob Stern: 1769–1842) представляет в Варшаве свою счетную машину, над созданием которой он трудился 8 лет. По отзывам современников, например в немецкой газете «Leipziger Literaturzeitung», «...все, чего хотели достичь Паскаль, Поленус и Лейбниц, реализуется в машине Штерна».

В январе 1817 г. А. Штерн представляет свою вторую машину, позволявшую извлекать корни, а 17 апреля того же 1817 г. он делает очередной доклад на заседании «Варшавского общества

¹ Город Несвиж на протяжении 30–80-х гг. XVIII в. был резиденцией одного из крупнейших польских магнатов Радзивиллов, превративших этот город в один из культурных центров Речи Посполитой. Не случайно надписи на машине Якобсона сделаны на немецком, польском языках и латыни.

друзей науки», руководимого Станиславом Сташицем (Stanisław Staszyc: 1755–1826), и представляет свою третью машину, соединившую возможности первых двух. Эта машина была показана и царю Александру I. В результате А. Штерн получил ежегодную пенсию в размере 330 рублей. Более того, А. Штерн был назначен руководителем Комитета (по устройству школ) и инспектором всех еврейских школ Царства Польского [21]. Добавим, что А. Штерн родился в Хрубишове в семье часового мастера, а умер в Варшаве. Его вычислительные машины не сохранились (были уничтожены во время восстания в Варшавском гетто в 1943 г.).

- В 1828 г. генерал-майор Федор Михайлович Свободской, соединив несколько (до 12) русских счет под одной рамой, получил возможность умножения и деления целых чисел, что вместе со специальными таблицами существенно ускорило расчеты. При этом часть счет служила фактически оперативной памятью (на них оставляли промежуточные результаты). Подробно об этом приборе мы знаем из книги¹ адъюнкта астрономии при Санкт-Петербургском университете Петра Васильевича Тихомирова (1803–1831). Он же указал и на другие возможности этого прибора: быстрое извлечение кубического корня из многоразрядных (до 21 разряда) чисел [7].

- 24 ноября 1845 г. в России был выдан патент на суммирующую машину Хаим-Зелика Слонимского (1810–1905), названную «снарядом для сложения и вычитания». Во многих книгах ошибочно написано, что за нее Х.-З. Слонимский получил Демидовскую премию. Он действительно получил эту премию, но за «новый числительный инструмент», основанный на теореме Слонимского, о кратных числах [23]. Эта машина была *множительным* устройством и создана в 1843 г. [22; 23]. Хаим-Зелик²

¹ Тихомиров П. В. *Арифметика на счетах*. – СПб., 1830.

² В литературе иногда встречается: Зиновий Яковлевич Слонимский.

Слонимский в 1844 г. демонстрирует свою множительную машину в Берлинской Академии наук и получает похвальные отзывы таких ученых, как Карл Якоби, Август Крелль, Фридрих Бессель и Александр Гумбольдт. А. Крелль даже публикует статью¹ о теореме X.-З. Слонимского и его множительной машине. 4 апреля 1845 г. Физико-математическое отделение Императорской Академии Наук заслушало Слонимского, где он представил машину и письменную формулировку своей теоремы. Присутствовавшие на этом заседании академики В. Я. Буняковский (1804–1889) и П. Н. Фусс дали положительный отзыв и рекомендовали Слонимского к награждению Демидовской премией².

Прежде чем говорить о теореме X.-З. Слонимского, напомним некоторые определения. Возрастающую последовательность неотрицательных несократимых дробей, не превосходящих 1 со знаменателем, не превосходящим $n \in \mathbb{N}$, называют рядом (последовательностью) Фарей³ порядка n . Например, $F_1 = \left\{ \frac{0}{1}, \frac{1}{1} \right\}$,

$F_2 = \left\{ \frac{0}{1}, \frac{1}{2}, \frac{1}{1} \right\}$, $F_3 = \left\{ \frac{0}{1}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2}, \frac{2}{3}, \frac{1}{1} \right\}$. Далее нам понадобится функция

¹ Crelle A. L. *Démonstration d'un théorème de Mr. Slonimsky sur le nombres, avec une application de ce theorem au calcul de chiffres* // Jour. für die reine und angewandte Mathematik. – V. 28 (1844). – S. 184–190.

² Присуждена 17 апреля 1845 г. (присуждалась с 1831 г. в день рождения Александра II). Учреждена промышленником Павлом Николаевичем Демидовым (1798–1840).

³ Этот термин ошибочно ввел О. Коши. Джон Фарей (John Farey: 1766–1826) был геологом и опубликовал (без доказательства) ряд свойств последовательностей (Фарея), важнейшее из которых: если $\frac{a}{b}, \frac{a'}{b'}, \frac{a''}{b''}$ – три последовательных члена ряда Фарей, то $\frac{a'}{b'} = \frac{a+a''}{b+b''}$, т. е. средний член есть медианта двух соседних. Фактически же ввел ряд Фарей и доказал основные его свойства математик Харос (Haros C.) (1802) в работе: Haros C. *Table pour Évaluer une Fraction Ordinaire avec Autan de Decimales qu'on Vouddra; et pour Trouver la Fraction Ordinaire la plus Simple, et qui Approche Sensiblement d'une Fraction Décimale.* – *Annonces et Notice d'Ouvrages* // Jour. De l'École Polytechnique. Cah. 11. – Т. 4 (1802). – P. 364–368.

Эйлера. Напомним, что функцией Эйлера (тотиент) называют арифметическую операцию $\varphi(n)$, значение которой равно количеству положительных целых чисел, не превосходящих n и взаимно простых с n . Для функции φ справедливо: $\varphi(1)=1$, $\varphi(mn)=\varphi(m)\varphi(n)$ при $(m,n)=1$. Заметим, что $\varphi(2)=1$, $\varphi(3)=2$, $\varphi(4)=2$, $\varphi(5)=4$, $\varphi(6)=2$, $\varphi(7)=6$, $\varphi(8)=4$, $\varphi(9)=6$.

Для нас наиболее важным будет следующее свойство ряда Фарея: если Q_n – число членов ряда F_n , то

$$(1.6) \quad Q_n = 1 + \sum_{x=1}^n \varphi(x).$$

Кстати, если $\frac{a}{b}, \frac{a'}{b'}$ два последовательных члена из F_n , то

$$(1.7) \quad ba' - ab' = 1.$$

Теперь уже можно сформулировать теорему Слонимского. Она состоит из нескольких утверждений:

1. Пусть имеем целое положительное число, записанное поразрядно: $a_m a_{m-1} \dots a_2 a_1$ в системе счисления \mathbb{C} с основанием r . Умножим его последовательно на числа $1, 2, 3, \dots, r-1$ и полученные произведения подпишем одно под другим с соблюдением правил разрядов. В результате получим $m+1$ столбцов (свободные места слева заполним нулями), каждый из которых содержит $(r-1)$ цифру. Расположение цифр в столбце назовем представлением столбца. Умножение всевозможных чисел $1, 2, 3, \dots, r-1$ порождает бесконечное множество представлений. Однако при этом число РАЗЛИЧНЫХ представлений будет конечным. Оно задается формулой

$$(1.8) \quad A_r = r \left\{ \sum_{n=2}^{r-1} \varphi(n) + 1 \right\} = r(Q_{r-1} - 1).$$

В частности, при $r = 10^1$ получим

$$A_{10} = 10\{1+2+2+4+2+6+4+6+1\} = 280. \text{ Напомним, что}$$

$$F_9 = \left\{ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccc} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 2 & 1 & 2 & 1 & 3 & 2 & 3 & 4 & 1 & 1 & 5 & 4 & 3 & 5 & 2 & 5 & 3 & 7 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 \\ 1 & 9 & 8 & 7 & 6 & 5 & 9 & 4 & 7 & 3 & 8 & 5 & 7 & 9 & 1 & 2 & 9 & 7 & 5 & 8 & 3 & 7 & 4 & 9 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \end{array} \right\},$$

т. е. $Q_9 = 29$, и по формуле

$$(1.8) \quad A_{10} = 10 \cdot 28 = 280.$$

2. Произведение любой дроби, заключенной между двумя соседними фареевыми дробями $\frac{p_i}{q_i}$ и $\frac{p_{i+1}}{q_{i+1}}$ на числа $1, 2, \dots, 9$, (т. к. в нашем случае система счисления десятичная ($r = 10$)) порождает то же представление, что и для целых частей последовательности произведений на эти же числа (т. е. $1, 2, \dots, 9$) фареевой дроби $\frac{p_i}{q_i}$.

Возьмем, например, пятнадцатую дробь из F_9 . Это $\frac{1}{2} = 0,5$.

Умножим $0,5$ последовательно на числа $1, 2, 3, \dots, 9$.

$$0,5 \times 1 = 0,5; \quad 0,5 \times 2 = 1,0\dots; \quad 0,5 \times 3 = 1,50\dots; \quad 0,5 \times 4 = 2,0\dots; \quad 0,5 \times 5 = 2,50\dots; \\ 0,5 \times 6 = 3,0\dots; \quad 0,5 \times 7 = 3,50\dots; \quad 0,5 \times 8 = 4,0\dots; \quad 0,5 \times 9 = 4,5$$

Выпишем в виде столбца целые части полученных чисел:

$$(0,1,1,2,2,3,3,4,4)^{-1}.$$

Так можно составить матрицу из 28 столбцов и 9 строчек. Эту таблицу назовем *основной*. Теперь для каждого основного столбца составим 9 производных столбцов, полученных при умножении на числа $1, 2, \dots, 9$ следующим образом. Пусть взято число 7. Кратные этого числа будут: 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56, 63. Запишем их в виде столбца и прибавим к ним числа какого-нибудь столбца основной таблицы. Например, пятнадцатый: т. е.

¹ Т. е. в условиях десятичной системы счисления.

$(0,1,1,2,2,3,3,4,4)^{-1}$. Получим: $(7,15,22,30,37,45,52,60,67)^{-1}$. Таким образом, всего у нас получится 280 столбцов, включая и 28 основных столбцов. Эти столбцы и составляют таблицу (или матрицу) Слонимского. И именно на основе данной таблицы создано им вычислительное устройство. К сожалению, прибор Слонимского не производился промышленностью. Тем не менее идеи Слонимского стали широко известны и повлияли на появление целого ряда вычислительных приборов.

- Начнем с прибора Генриха Куммера, который он представил Императорской Академии Наук год спустя после Х.-З. Слонимского, т. е. в 1846 г. Более того, этот прибор тоже был выдвинут на Демидовскую премию. В своем запросе (от 11 декабря 1846 г.) на получение патента¹ он пишет: «...что, хотя по собственному признанию Куммера, идея его прибора внушена ему Счетчиком Слонимского,... обращение с ним проще,... а стоимость изготовления меньше, чем прибора Слонимского».

Отметим, что о Генрихе Куммере в российских источниках указывалось лишь, что это «учитель музыки», изобретший счетный прибор, названный позже «счислителем Куммера» и производимый серийно в Петербурге механиком И. Э. Мильком. В немецких² источниках (см. подробнее [23]) можно найти, что Генрих Куммер (Heirich Gotthelf Kummer (1809–1880))³ родился в Дрездене в семье композитора и фэготиста Готхельфа Генриха Куммера (1774–1857). С отцом он выступал, играя на фэготе, уже с 6 лет.

В 1831 г., не имея возможности содержать семью, он уезжает в Российскую Империю, где становится с 1837 г. первым фэготи-

¹ Патент был выдан 29.03.1847 г. на 10 лет (см.: история [22, с. 586]). Любопытно, что описание патента было составлено Куммером на немецком языке.

² Fürstenau M. *Kummer Heinrich* // Allgemeine deutsche Biographie & Neue deutsche Biographie. – Leipzig: Krabbe-Lasota, 1883. – Bd. 17.– S. 369–371.

³ См.: Одинец В. П. *Возвращаясь к Куммеру* // Вестник Сыктывкарского университета. – Сер. 1. – № 15 (2012). – С. 147–149.

стом Императорского оркестра (в Петербурге). В 1851 г. он возвращается в Дрезден, заработав в России пенсию¹. В 1869 г. Г. Куммер получил и американский патент на свой счислитель, названный там «Henry Kummer» (см. [23; 24]²).

- В 1882 г. на Всероссийской выставке были продемонстрированы счетные бруски³, созданные годом ранее механиком-самоучкой из местечка Петровичи Климовского уезда Могилевской губернии Г. З. Иоффе⁴. На 280 гранях 70-ти четырехгранных брусочков были размещены 280 таблиц Слонимского, с помощью которых получали произведение множимого на одноразрядный множитель. Для многоразрядных чисел при их умножении это существенно уменьшало число ошибок. Однако сложение производилось на бумаге [23].

- Вернемся теперь на время в 1846 г. В августе Академия Наук дала положительный отзыв на арифметическую машину жителя г. Варшавы, часовых дел мастера Израеля Штафеля. Полное имя Абрахам Израель (Israel Abraham Staffiel)⁵. Прибор, по мнению академиков В. Я. Буняковского и Б. С. Якоби, обладал «...большой механической простотой». Как и машина Слонимского, выполнял четыре арифметических действия, но был в изготовлении много проще. Ранее в 1845 г. он демонстрировался на Выставке в Варшаве.

¹ Отметим, что иностранцы, работавшие в Императорском оркестре, получали пенсию, правда, половинную, после 10 лет работы, а подданные Российской Империи – через 22 года.

² См. также: Leipälä T. *Kummer and his 1847 slide adder / Mitteilungen zur Geschichte der Rechentechnik*. – Heft 8 (2009). – P. 65–80 / 15 Internationales Treffen der Rechenschiebersammler und 4. Symposium zur Entwicklung der Rechentechnik 04.09–05.09.2009. (Herausgeber: W. H. Schmidt und W. Girbardt). – Greifswald: Ernst Moritz Arndt Universität, 2009. – 150 p.

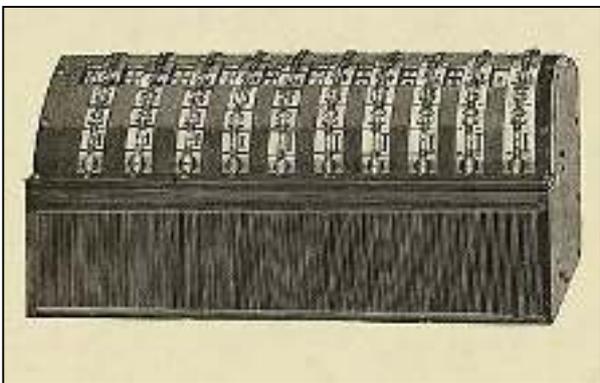
³ В Германии они получили название «Ioffe Stänge».

⁴ В общедоступной литературе никаких сведений о Г. З. Иоффе не было (ни инициалов, ни откуда он родом).

⁵ Израель Штафель родился в 1814 г. Умер не ранее 1877 г.

После положительного отзыва Академии Наук прибор И. Штафеля был показан царю Николаю I, и тот распорядился наградить И. Штафеля 1500 рублями. Позже (в 1852 г.) прибор Штафеля был показан на выставке в Лондоне и был удостоен серебряной медали 2-й степени. Во многих вычислительных машинах второй половины XIX в. заметны конструктивные элементы машины Штафеля.

Добавим, что экземпляр машины был передан И. Штафелем в качестве дара в Академию Наук и хранится в музее М. В. Ломоносова.



Арифмометр Чебышева

- Великий русский математик Пафнутий Львович Чебышев (1821–1894) свободное время тратил на создание различных механизмов [7], в том числе и счетных. В 1876 г. он предложил проект суммирующего устройства с непрерывной передачей десятков, а в 1881 г.

приставку к ней, позволяющую умножать и делить числа. В итоге этот механизм был назван арифмометром Чебышева. Однако в эксплуатации он проигрывал арифмометру Однера и не получил распространения.

- Для улучшения обучения счету в школах и на бухгалтерских курсах в XIX в. были сделаны попытки модификации русских счет. В частности, такие усовершенствования были предложены в 1860 г. педагогом А. Н. Больманом¹, а в 1872 г. изобретателем «Журнала Общества счетоводов» Федором Венедиктови-

¹ Больман А. Н. *Полная арифметика на счетах*. – 3-е изд. – СПб., 1871. – 156 с.

чем Езерским (1836–1916) и в 1867 г. академиком-математиком Виктором Яковлевичем Буняковским (1804–1889)¹.

Были в дореволюционной России и некоторые другие изобретения вычислительных машин, но они не оказали существенного влияния на развитие вычислительной техники.

В период с 1917 по 1945 г. шло усовершенствование арифмометра Однера, клавишных сумматоров, а с конца 20-х гг. и аналогичных машин. В связи с организацией в 20–30-е гг. машинно-счетных станций профессия вычислителя в СССР перестает быть исключительной.

- В 1926 г. математик Сергей Аронович Гершгорин (1901–1933) публикует описание прибора для интегрирования дифференциального уравнения Лапласа², который был позже (1929) изготовлен. Одновременно им был разработан метод сеток, нашедший широкое использование уже при использовании ЭВМ.

- В 1935 г. в СССР была выпущена первая электродинамическая счетно-аналитическая машина (САМ) – модель Т-1.

- В 1939 г. Исаак Семенович Брук (1902–1974) построил аналоговую вычислительную машину, существенно улучшив «дифференциальный анализатор Буша».

- В 1945–1946 гг. под руководством Льва Израилевича Гутенмахера (1908–1981) строятся первые электронные аналоговые вычислительные машины (АВМ) с повторением решения.



Л. И. Гутенмахер

¹ Модификация русских счет в механические устройства известна как «самосчеты» Буняковского (см. [7]).

² Гершгорин С. А. *К описанию прибора для интегрирования дифференциального уравнения Лапласа* // Журнал прикладной физики. – 1926. – Т. 3. – С. 271–274.



С. А. Лебедев

В СССР строились и другие аналоговые вычислительные машины. В частности, в 1945 г. была построена под руководством Сергея Александровича Лебедева (1902–1974) электронная аналоговая машина для решения обыкновенных дифференциальных уравнений для задач энергетики.

Однако главное в деятельности и И. С. Брука, и С. А. Лебедева было впереди – именно им, а также Баширу Искандеровичу Рамееву (1918–1994) СССР обязан прорывом в создании ЭЦВМ.

§ 6. История создания компьютеров в России (1948–1954 гг.)

В августе 1948 г. И. С. Брук и Б. И. Рамеев представили первый в СССР проект «Автоматической цифровой электронной машины». В этом проекте была дана принципиальная схема вычислительной машины (ВМ). Арифметические операции определены в двоичной системе счисления, управление работой ВМ должно было происходить от «главного программного датчика», который считывал бы программу, записанную на перфоленту, и выдавал бы результат тоже на перфоленту.

4 декабря 1948 г. на имя И. С. Брука и Б. И. Рамеева было выдано авторское свидетельство (первое в СССР) в области цифровой электронной ВМ.

Заметим, что в конце 1947 г. в Институте электротехники (ИЭ) АН УССР постановлением Президиума АН была создана ла-

боратория № 1 (специализации и вычислительной техники), которую возглавил директор ИЭ член-корреспондент АН СССР С.А. Лебедев, а в начале 1948¹ г. было объявлено, что задачей лаборатории будет строительство за 2–3 года ЭВМ, названной позже Модельной Электронно-Счетной Машиной (МЭСМ)² [20].

Архитектура МЭСМ состояла из:

1. Арифметического устройства (АУ) – для выполнения арифметических задач.
2. Запоминающего устройства (ЗУ) – для хранения чисел и команд.
3. Устройства управления (УУ), осуществляющего общее управление и дающего командные импульсы.
4. Вводного устройства (ВВУ) и Выводного устройства (ВУ).

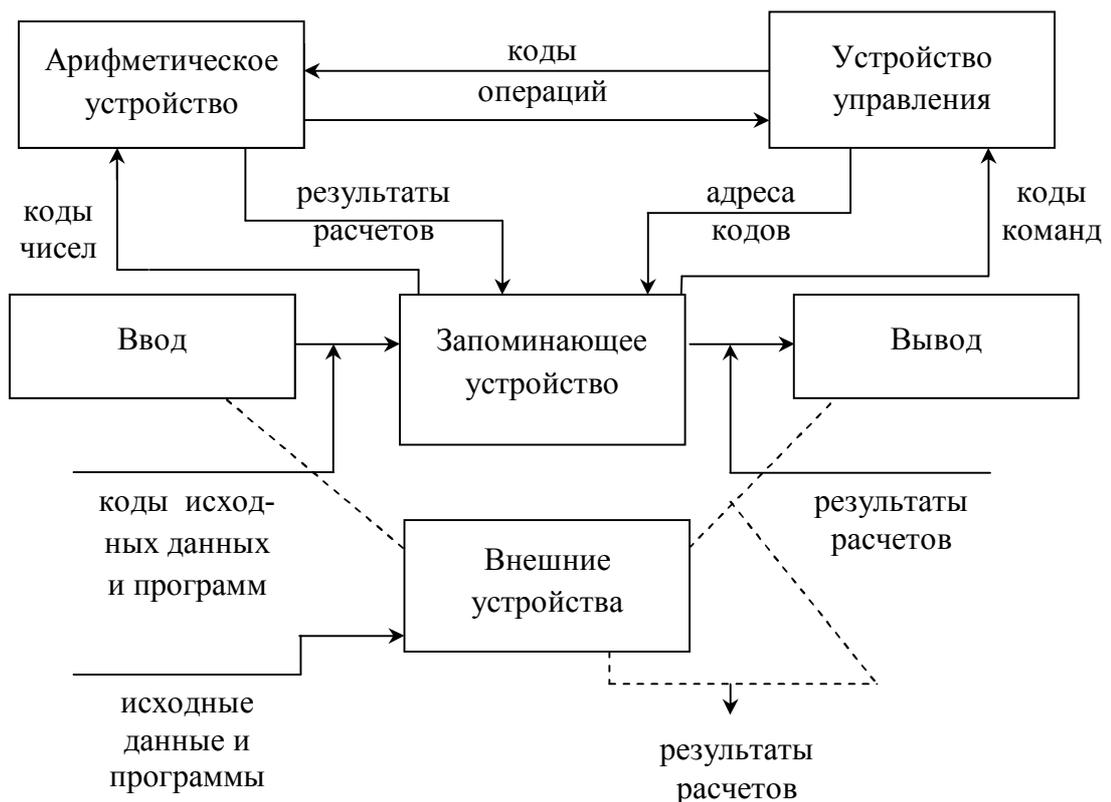


Рис. 6.1. Блок-схема ЭВМ МЭСМ

¹ В своих воспоминаниях С. А. Лебедев пишет, что созданием цифровых ЭВМ он занялся в конце 1948 г. [26].

² Позже «Модельная» было заменено на «Малую».



С. Г. Крейн



С. А. Авраменко

Кроме того, в архитектуру включались внешние устройства (ВНУ) хранения исходных данных и программ и результатов расчетов машиной.

Предполагалось, что МЭСМ будет трехадресной. Система счисления предполагалась двоичной. Форма представления чисел – с фиксированной запятой. Количество разрядов – первоначально равным 17 (включая разряд для знака числа), но в 1950 г. по настоянию математиков, прежде всего Бориса Владимировича Гнеденко (1912–1995), Селима Григорьевича Крейна (1917–1999) и Сергея Александровича Авраменко¹, число разрядов было увеличено до 21.

В 1951 г. для МЭСМ была создана математиками С. Г. Крейном и С. А. Авраменко первая программа для решения дифференциального уравнения $y'' + y = 0$, $y(0) = 0$, $y(\pi) = 0$.

В декабре 1951 г. комплексная отладка была закончена и начались ее испытания, а *25 декабря 1951 г.* машина была принята в эксплуатацию [20]².

¹ Автор благодарит Г. М. Полотовского, приславшего фотографию С. А. Авраменко из музея в Сарове.

² 4 января 1952 г. Президиум АН СССР в выписке из протокола своего заседания сообщает о введении в эксплуатацию первой в СССР быстродействующей электронной цифровой машины. (О том, что еще 15 декабря 1951 г. введена в эксплуатацию вычислительная машина Н. С. Брука по соображениям секретности (она обслуживала атомный проект) писать в протоколах было нельзя!)

А что же в это время с ЭВМ И. С. Брука и Б. И. Рамеева? О ней в 1949 г. старались не вспоминать, т. к. внимание АН СССР было приковано к созданию МЭСМ.

Ситуация изменилась через год. В марте 1950 г. в Лабораторию Энергетического института АН СССР, где работал¹ И. С. Брук, были по просьбе И.С. Брука направлены несколько выпускников МЭИ², и в их числе Николай Яковлевич Матюхин (1927–1984), который, несмотря на диплом с отличием, не был принят в аспирантуру МЭИ. И. С. Брук сразу поставил задачу – создание цифровой вычислительной машины.

Через 2,5 месяца Президиум АН СССР, недовольный медленными темпами строительства МЭСМ, дает задание ЭИ о строительстве ЦВМ, оформленное в виде постановления.

Здесь следует сказать, что уже в 1949 г. у руководства СССР изменился взгляд на необходимость создания ЭВМ.

Подтолкнула к этому необходимость огромного числа вычислений при осуществлении советского атомного проекта. Постановлением Совета Министров СССР № 1990-774 СС/ОП от июня 1948 г. «О дополнительных заданиях по плану специальных



И. С. Брук



Б. И. Рамеев

¹ И где до 1945 г. работал С. А. Лебедев.

² Московского Энергетического института.

научно-исследовательских заданий на 1948 г.» за подписью И. В. Сталина (1879–1953) предусматривалось расширение групп вычислителей лаборатории № 2 МИАН¹ СССР (в Москве) под руководством И. М. Виноградова, в ЛОМИ² (в Ленинграде) – под руководством Л. В. Канторовича и в Институте геофизики АН СССР – под руководством А. Н. Тихонова.

Группы занимались расчетами критических масс ядерных зарядов и другими расчетами. Разумеется, эти группы были секретными [26].

В 1949 г. член Президиума АН СССР Михаил Алексеевич Лаврентьев (1900–1980) пишет письмо И. В. Сталину о необходимости создания Центра Вычислительных Машин для задач обороны страны и ускорении в СССР исследований в области дискретной вычислительной техники [26; 27]. Через полмесяца выходит секретное постановление Совета Министров СССР о создании Специального Конструкторского Бюро (СКБ-245) для выпуска ЦВМ для нужд обороны и о назначении Михаила Алексеевича Лаврентьева директором создаваемого ИТМ и ВТ³ и о разработке ЭВМ в специальном конструкторском бюро (СКБ-245)⁴ и в Академии Наук. Так что постановление Президиума Академии Наук о строительстве ЭВМ в ЭИ было вполне ожидаемым.

Начальником СКБ-245 (и его создателем) был Михаил Авксентьевич Лесечко (1909–1984)⁵, а руководителем отдела по созданию ЭЦВМ и главным конструктором (ГК) – Юрий Яковлевич Базилевский (1912–1983), до этого директор специального конст-

¹ МИАН – Математический институт им. В. А. Стеклова Академии Наук СССР.

² ЛОМИ – Ленинградское отделение МИАН СССР.

³ Институт Точной механики и вычислительной техники АН СССР.

⁴ СКБ-245, а также НИИ Счетмаш были созданы на базе Московского завода счетно-аналитических машин (САМ).

⁵ По документам М. А. Лесечко получил задание по созданию СКБ-245 еще в 1948 г., будучи так же назначенным директором САМ. Позже М. А. Лесечко станет Министром приборостроения СССР, заместителем Предсовмина СССР.

рукторского бюро (СКБ) при заводе «Манометр». Разработчиком ЭЦВМ являлся Б. И. Рамеев. Следует сказать, что в 1949 г. Б. И. Рамеева неожиданно вновь призвали в армию и отправили на Дальний Восток. С большим трудом И. С. Бруку удалось вернуть Б. И. Рамеева в Москву, а там уже он был приглашен в СКБ-245 на должность заведующего Лабораторией [25].

Итак, в СССР в 1950 г. одновременно разрабатывались и строились три ЭВМ. Достаточно подробно во многих изданиях описывается строительство МЭСМ. К сожалению, из-за условий секретности только сравнительно недавно снят гриф с отчета ЭИ АН СССР, подписанный директором ЭИ академиком Г. М. Кржижановским (1872–1959) о том, что 15 декабря 1951 г. закончены испытания и принята в эксплуатацию ЭЦВМ М-1. (Иными словами, М-1 принята в эксплуатацию на 10 дней раньше МЭСМ!) Но и это еще не все!

Все логические схемы в М-1 были сделаны на купроксных¹ выпрямителях (правда, трофейных), т. е. М-1 была *первой в мире* ЭВМ, в которой *все логические схемы сделаны на полупроводниках*.

М-1 делало всего 15–20 операций в секунду над 23-разрядными числами. Емкость ее составляла 256 слов. И она в отличие от МЭСМ была двухадресной машиной. Первые задачи, которые решались на М-1, ставились академиком Сергеем Львовичем Соболевым (1908–2003), который в тот период времени был заместителем Игоря Васильевича Курчатова (1903–1960) и возглавлял математическую часть атомного проекта в СССР. В Арзамасе-16 (Сарове) математическую часть возглавлял Николай Николаевич Боголюбов (1909–1992), которого сменил в 1953 г. упоминавшийся-

¹ Купроксный выпрямитель – меднозакисный полупроводниковый (твердый) выпрямитель, преобразующий переменный электрический ток в постоянный ток одного направления.



Н. Н. Боголюбов

ся выше С. А. Авраменко) [26; 28]. До середины 1953 г. М-1 была единственной действующей ЭВМ на территории РСФСР¹.

Вернемся теперь в СКБ-245.

Разработка ЭЦВМ, которая получила название «Стрела», началась в марте 1950 г., а в конце 1952 г. первый экземпляр машины был готов к отладке. В середине 1953 г. «Стрела» была принята в эксплуатацию. Скорость у «Стрелы» была 2000 операций в секунду, оперативная

память – 2048 слов, разрядность – 43, постоянное ЗУ на полупроводниковых диодах². Машина, как и МЭСМ, была трехадресной. Выпускалась серийно на Московском заводе счетно-аналитических машин (САМ) с 1953 по 1956 г. Всего было выпущено 7 машин, в том числе для ВЦ-1 МО СССР, ВЦ АН СССР, для ВЦ КБ-11 (Арзамаса-16).

Задачи для «Стрелы» ставились уже Мстиславом Всеволодовичем Келдышем (1911–1978), который стал (после С. А. Лебедева) директором Института Теоретической Механики и Вычислительной Техники.

В середине 1951 г., еще не дожидаясь сдачи МЭСМ в эксплуатацию, С. А. Лебедев был вызван в Москву и назначен директором Института Теоретической Механики и Вычислительной Техники (сменив М. А. Лаврентьева). Главной его задачей будет разработка и создание быстродействующей (большой) электрон-

¹ Напомним, что МЭСМ оставалась в Феофании (15 км от Киева), т. е. на территории Украины.

² Внешнее ЗУ – два накопителя на магнитной ленте; ввод данных – с перфокарт и с магнитной ленты; вывод данных – на магнитную ленту, перфокарты и широкоформатный принтер.

ной вычислительной машины (БЭСМ). Отладка БЭСМ (ее позже назовут БЭСМ-1) была закончена в 1953 г. и одновременно со «Стрелой» представлена на Сталинскую премию.

С. А. Лебедев рассчитывал, что БЭСМ-1, имевшая быстродействие 8–10 тыс. операций/сек, количество разрядов 39 с плавающей запятой, систему команд – трехадресную, общее поле памяти для команд и чисел 2047 39-разрядных ячеек, внешнюю память – на 2-х магнитных барабанах по 5120 слов и 4-х магнитных лентах по 30 000 слов, ввод с перфоленды (со скоростью 20 кодов/сек), печать на бумагу – по 20 чисел/сек, – победит в конкурсе. Но ошибся.

Предпочтение отдали «Стреле», ведь она уже пошла в серию (была готова техническая документация) и была существенно дешевле БЭСМ.

В октябре 1953 г. БЭСМ являлась самой быстродействующей ЭВМ, созданной в Европе, но в Европу с декабря 1950 г. уже начали поступать коммерческие машины из США (IBM 701). Им БЭСМ уступала и по быстродействию, и по объему памяти.

На основе архитектуры БЭСМ-1 в 1954 г. началась разработка БЭСМ-2 для серийного производства. Так как ИТМ и ВТ АН СССР не имел своего завода, то это оказалось весьма хлопотным делом. Для серийного производства был выделен завод им. Володарского в Ульяновске, и только в 1958 г. там пошла серия – всего 67 машин, которые выпускались до 1962 г. включительно.

Другая разработка М-40 (коренная модификация БЭСМ-2) – для управления РЛС дальнего обнаружения и сопровождения цели и точного наведения противоракеты на баллистическую ракету противника. В марте 1961 г. (на 32 года раньше американцев!) на этом комплексе впервые в мире была ликвидирована боевая часть баллистической ракеты осколочным зарядом противоракеты. Главным конструктором был С. А. Лебедев, а основным раз-

работчиком – будущий академик Всеволод Сергеевич Бурцев (1927–2005). ЭВМ М-40 начала выполнять боевые задачи еще в 1957 г., при этом ее быстродействие повысилось – 40 тыс. операций/сек, но с фиксированной запятой.

Другая вполне гражданская модификация БЭСМ-1 под названием М-20 изготавливалась на заводе САМ с 1959 по 1964 г. Всего было произведено 20 машин. Они были трехадресными, быстродействие 20 тыс. операций/сек.

Вернемся вновь в Лабораторию электросистем Энергетического Института. С апреля по декабрь 1952 г. под руководством И. С. Брука была разработана и смонтирована малая ЭВМ для научных расчетов – М-2. Коллектив разработчиков возглавил М. А. Карцев (1923–1983). С января 1953 г. машина М-2 эксплуатировалась круглосуточно. Ее оперативная память существенно возросла – в 1956 г. она имела емкость 4096 чисел, быстродействие 2000 операций/сек.

На М-2 проводились расчеты для Института атомной энергии (заказчик: академик С. Л. Соболев), для Института теоретической и экспериментальной физики АН СССР (заказчик: академик А. И. Алиханов). Для Института проблем механики АН СССР был проведен расчет прочности плотин Куйбышевской и Волжской гидроэлектростанций. Решались и другие интересные и важные задачи, в частности для НИИ-108 (директор: академик Аксель Иванович Берг (1893–1979)).

В июне 1954 г. при обсуждении доклада профессора Алексея Андреевича Ляпунова (1911–1973) в ЭНИИ об использовании математических машин в логических целях [27, с. 73–75], ученик И. С. Брука Николай Яковлевич Матюхин (1927–1984), будущий член-корреспондент АН СССР, выражая и свое мнение, и мнение И. С. Брука, высказался о необходимости создания малой ЭВМ, предназначенной для научных, инженерных и управленческих

расчетов в научно-исследовательских и проектно-конструкторских организациях. Заметим, что Н. Я. Матюхин уже работал по собственной инициативе над такой машиной с 1953 г. Как говорили в советское время, «инициатива наказуема». Н. Я. Матюхин явочным порядком строит вместе с Главным конструктором и совместно с группой Бориса Моисеевича Кагана (1918–2009) из Института электропромышленности (ныне ВНИИ ЭМ) такую ЭВМ, названную М-3. Однако М-3 была введена в эксплуатацию только в 1956¹ г. Как и в М-1, в машине М-3 широко использовались полупроводниковые элементы. Машина М-3 стала основой для развития математического машиностроения в Минске и Ереване (туда была передана вся документация).

На базе лаборатории И. С. Брука в 1956 г. появилась лаборатория управляющих машин и систем (ЛУМС) АН СССР. В 1958 г. эта лаборатория была преобразована в Институт электронных управляющих машин (ИНЭУМ) АН СССР, первым директором² которого и стал И. С. Брук.

Вернемся теперь вновь в 1953 г. в СКБ-245. Уже в середине 1953 г. Б. И. Рамеев становится Главным конструктором семейства малых ЭВМ «Урал». В качестве базы для выпуска «Уралов» (от Урала-1 до Урала-16) был выбран Пензенский завод счетно-аналитических машин. В 1955 г. Б. И. Рамеев переезжает туда (на 10 лет) с группой выпускников МИФИ, которым он в 1951–1953 гг. читал курс лекций по цифровой вычислительной технике (ра-

¹ Это связано с тем, что формально машина М-3 была создана инициативно, т. е. не была включена в планы работ ИЭ. Поэтому Госкомиссия долго не хотела принимать машину и только необходимость загрузить работой новые производства ЭВМ в Минске и Ереване решили дело.

² Он проработал директором до 1964 г. И. С. Брук, будучи пропагандистом методов линейного программирования Л. В. Канторовича, динамических моделей экономики и межотраслевого баланса В. В. Леонтьева (1905–1999), слишком открыто выступал за создание достоверной базы соотношений цен, что руководителями АН СССР было воспринято как «ересь». В итоге, И. С. Брука сняли с должности директора.

ботая в МИФИ по совместительству) и которые проходили практику у Б. И. Рамеева в СКБ-245.

Забегая вперед, отметим, что до 1967 г. развитие вычислительной техники в СССР шло весьма бурными темпами. Однако принятое решение на совместном заседании Комиссии по вычислительной технике АН СССР (председатель А. А. Дородницын) и Совета по вычислительной технике ГКНТ¹ при Совете Министров СССР (председатель В. М. Глушков²) от 26 января 1967 г. о структуре и архитектуре третьего поколения ЭВМ – необходимости копирования американской IBM-360 – на 10 лет затормозило собственное развитие в СССР вычислительной техники, прежде всего для гражданского применения³. Что касается применения ЭВМ для военных целей, а также Космоса, то там развитие шло, но существенно медленнее.

Заключительные замечания

Как и всякая периодизация, периодизация развития компьютерной техники носит условный характер. Снятие грифов секретности со многих материалов, связанных с созданием компьютеров, позволило уточнить, а иногда и изменить сложившиеся стереотипы об истории компьютерных наук (см., например, [28]). С другой стороны, археология и архивное дело позволили найти

¹ ГКНТ – Государственный Комитет по Науке и Технике.

² Позиция В. М. Глушкова была тем более удивительна, что в возглавляемом им ВЦ Академии наук Украины была к 1961 г. разработана и построена (под руководством Б. Н. Малиновского) цифровая Управляющая Машина Широкого Назначения (УМШН) «Днепр», не уступавшая по многим показателям американской RW-300, законченной также в 1961 г. [142]. Позже на основе УМШН «Днепр» под руководством Б. Н. Малиновского были созданы первые советские бортовые ЭВМ ракетно-космических комплексов.

³ Мнение С. А. Лебедева, И. С. Брука, Б. И. Рамеева и других главных конструкторов, выступавших «против» на этом заседании, услышано не было.

свидетельство существования компьютеров, не укладывающихся в традиционную периодизацию. Тем не менее главное направление в имеющейся периодизации остается правильным. Итак:

- Преднулевое поколение компьютеров (100 г. до н. э. – 1623 г. н. э.).

- Нулевое поколение компьютеров (так называемые «механические» компьютеры (1623–1939/40)).

- Первое поколение – ламповые компьютеры (1940/41–1951).

- Второе поколение – транзисторы (1952–1965).

- Третье поколение – интегральные схемы (1965–1980).

- Четвертое поколение – сверхбольшие интегральные схемы (1980–1990).

- Пятое поколение (1990–2000) – это поколение компьютеров для обработки знаний и работы со сверхбольшими базами данных, а также суперкомпьютеры для научных исследований. В СССР был создан (к 1988 г.) прототип компьютера пятого поколения «Марс», оказавшийся невостребованным.

- Шестое поколение (2000 – по настоящее время) – это оптоэлектронные компьютеры, оптические компьютеры, биокомпьютеры и молекулярные компьютеры, и, наконец, квантовые компьютеры (подробнее см. [140]).



Б. Н. Малиновский



В. М. Глушков

Достоинство оптических и оптоэлектронных компьютеров, кроме быстродействия и компактности, состоит в том, что световые потоки в них, в отличие от электрических, могут пересекаться, что не влечет сбоев.

Что касается биокомпьютеров и молекулярных компьютеров, то они еще только разрабатываются.

Добавим еще, что российский суперкомпьютер «Ломоносов» был в 2010 г. двенадцатым (по скорости) суперкомпьютером в мире (350 терафлоп операций в секунду).

Новые решения, заложенные в «Ломоносове», уже были фактически апробированы в комплексе ЭВМ «Эльбрус-2» и «Эльбрус-3», созданных в свое время для первого (и самого мощного по своим возможностям) в мире плавающего командно-аналитического комплекса «Урал»¹.

¹ Этот корабль с двумя атомными энергетическими установками (длина 236 м, ширина до 32 м) был сдан в эксплуатацию в 1990 г. и до сих пор стоит у причала «Большой Камень» во Владивостоке.

Глава II. История развития теории алгоритмов¹

Введение

Напомним, что появление алгоритмов восходит к глубокой древности: более 4000 лет тому назад в Египте в период Древнего царства (т. е. 3 тысячелетие до н. э.) из папируса Ахмеса (1575 г. до н. э.) (см. [3, с. 17–19]) следует, что у египтян существовал алгоритм представления любой положительной рациональной дроби в виде суммы простых дробей, т. е. дробей вида $1/n$, где n – натуральное число. Найденные археологами глиняные таблички времен Хаммурапи (XVIII в. до н. э.) с теоремой Пифагора и ее применениями, а также еще более древние таблички с вычислением обратных чисел ясно свидетельствуют о реальном появлении алгоритмов у древних шумеров.

В Древнем Китае до (213 г. до н. э.) трактат «Математика в девяти книгах» содержал уже много различных алгоритмов.

В индийских «Ведах», написанных на санскрите до VI в. до н. э., уже есть алгоритмы нахождения арифметических и геометрических прогрессий.

Уже в IV в. до н. э. Тезтет из Афин (410, 368 г. до н. э.) вводит алгоритм, названный позже алгоритмом Евклида.

Наконец, в IX в. н. э. математик Ал-Хорезми (787–850) пишет два трактата, один из которых при переводе на латынь в XII в. и дал название алгоритм (искажение фамилии Ал-Хорезми) (см. [3]).

Становление во второй половине XIX в. теории множеств и возникшие в этой связи парадоксы остро поставили вопрос об ал-

¹ Эта глава, в отличие от остальных, адресована, в первую очередь, будущим математикам и информатикам. Другие читатели могут ее пропустить без ущерба для понимания.

горитмической разрешимости или неразрешимости многих математических задач.

К 20-м гг. XX в. стало очевидно, что это невозможно сделать без точного определения понятия *алгоритм*.

Сыграл в этом свою роль и прогресс вычислительных устройств, обозначивший проблему определения границ класса задач, которые в будущем могли бы решаться с помощью вычислительной техники.

Прежде чем давать точное определение алгоритма, выделим пять свойств алгоритмов, как говорят «в интуитивном смысле», важных в дальнейшем.

1. *Дискретность предписаний*, что означает, что каждый алгоритм должен содержать конечное число последовательно выполняемых указаний, выбранных к тому же из конечного (общего для всех алгоритмов в интуитивном смысле) набора типов предписаний.

2. *Конструктивность данных* предполагает, что входные и выходные данные алгоритма представляют собой конечные наборы состояний, взятых из счетного множества состояний.

3. *Детерминированность алгоритма* позволяет говорить об однозначной определенности результата каждого предписания предыдущим состоянием параметров алгоритма.

4. *Массовость алгоритма* означает возможность использования в качестве входных данных широкого набора строк над выбранным алфавитом.

5. *Замкнутость алгоритма* предполагает, что выполнение вычислений производится в точном соответствии с предписаниями и не требует привлечения никаких внешних устройств или дополнительных данных.

Заметим, что в теории алгоритмов особую роль играет так называемый *тезис формализации*: *любой алгоритм (в интуитивном смысле) может быть смоделирован в рамках данной вычис-*

лительной модели. Разумеется, это утверждение не является математическим¹.

Отметим, что в 30–40-х гг. было построено несколько вычислительных моделей:

- машина Поста;
- машина Тьюринга;
- частично-рекурсивные функции (вычислительная модель Клини);
- нормальные алгоритмы Маркова.

Были еще и другие вычислительные модели, но мы остановимся на этих четырех.

§ 7. Вычислительная модель Поста

Исторически первой в печати (сентябрь 1936 г.) появилась статья Эмиля Поста [30]. В ней была определена так называемая машина Поста.

Итак, машина Поста – это:

1. Бесконечная (в обе стороны) лента, разделенная на секции².

2. Каждая секция либо пустая, либо в ней записана метка³.

3. Каретка, которая:

а) может сдвигаться вдоль ленты влево или вправо (за единицу времени сдвиг может быть лишь на одну секцию);

б) может стоять неподвижно; в этом случае она дает информацию о секции, против которой она стоит – пуста ли секция или занята;

¹ Правда, его можно обосновать в рамках метаматематики.

² В статье [30] сам Пост называет секции «ящиками».

³ Состоянием ленты будем называть функцию $f_c : \mathbb{Z} \rightarrow \{\emptyset, \text{метка}\}$.



в) может поставить или уничтожить (стереть) метку, против которой она стоит.

Состоянием машины Поста будем называть пару (f_c, k) , где k – номер секции, которую «обозревает» каретка.

Пусть $i, j, j_1, j_2 \in \mathbb{N} \cup \{0\} = \mathbb{N}_0$ – номера команд. Командой машины Поста назовем выражение, имеющее один из 6 видов¹:

Эмиль Пост

1. $i. \Rightarrow j$ (команда движения вправо).
2. $i. \Leftarrow j$ (команда движения влево).
3. $i. \vee j$ (команда печатания метки).
4. $i. \xi j$ (команда стирания метки).
5. $i. ? \begin{matrix} j_1 \\ j_2 \end{matrix} \begin{matrix} \swarrow \\ \searrow \end{matrix}$ (команда передачи управления).
6. $i. stop$ (команда остановки) (или «останов»).

Число i (с точкой), стоящее в начале команды, называется *номером команды*. Число j (либо j_1, j_2), стоящее в конце команды, называется *отсылкой*, при этом в команде передачи управления j_1 называется *верхней отсылкой*, а j_2 – *нижней отсылкой*. У команды *остановка* (= *останов*) нет отсылки.

Программой машины Поста будем называть конечный непустой список команд Поста со следующими двумя свойствами:

1. Все номера команд идут по порядку (без пропусков), начиная с 0.

¹ Сам Пост обозначений командам не давал. Наши обозначения следуют [31].

2. Номера отсылок будут инъекцией в список команд программы машины Поста¹.

Для работы машины Поста задают: а) некоторую программу; б) некоторое состояние машины Поста (т. е. некоторую расстановку меток по ситуациям). При этом будем считать, что в начальном состоянии машины каретка ставится против секции с номером 0^2 .

Каждая команда машины выполняется за один шаг, при этом если на k -ом шаге выполнялась команда с номером i , то, если эта команда имеет единственную отсылку j , на $k + 1$ шаге выполняется команда j ; если же имеем команду передачи управления (и две отсылки j_1 и j_2), то, если секция к моменту выполнения этой команды была пуста, выполняется команда j_1 , если же секция была помечена, то следующей выполняется команда j_2 .

В процессе работы машины Поста осуществится один из трех сценариев:

I. В ходе работы машина дойдет до выполнения невыполнимой команды: печатания метки в непустой секции или стирания метки в пустой секции. При этом машина останавливается. Этот исход называют *безрезультатным «остановом»* (б.о.).

II. В ходе работы машина дойдет до выполнения команды stop (остановка). Этот исход называют *результатным «остановом»* (р.о.).

III. В ходе работы не будет остановки ни по первому, ни по второму сценарию, т. е. машина работает бесконечно.

Рассмотрим теперь, как записывается число на машине Поста. Для начала рассмотрим числа из $\mathbb{N}_0 = \mathbb{N} \cup \{0\}$. Число $n \in \mathbb{N}_0$ будем записывать в виде $(n + 1)$ отмеченных подряд ячеек (= сек-

¹ Т. е. для каждой отсылки каждой команды списка найдется в списке такая команда, номер которой равен рассматриваемой отсылке.

² Тем самым начальное состояние машины полностью определено состоянием ленты.

ций)¹. Обозначим через E_n совокупность всех таких состояний машины Поста, в каждом из которых на ленте будут помечены ровно $(n + 1)$ секций, а каретка может стоять где угодно.

Обозначим через $A_n \subset E_n$ совокупность всех таких состояний машины Поста, в которых каретка стоит против самой левой из отмеченных секций. Обозначим через $C_n \subset E_n$ совокупность всех таких состояний, в которых каретка стоит слева от массива, а через $C'_n \subset E_n$ совокупность всех таких состояний, когда каретка стоит справа от массива. Наконец, обозначим через $B_n \subset E_n$ совокупность всех таких состояний, когда каретка стоит против одной из отмеченных секций. По сути состояния A_n, C_n, B_n, E_n – это совокупности протоколов² машины Поста.

Рассмотрим теперь 3 задачи, каждая из которых приводит к прибавлению 1 к числу n :

Задача: Написать программу машины Поста, которая для любого $n \in \mathbb{N}_0 = \mathbb{N} \cup \{0\}$, будучи применена к произвольному состоянию из класса A_n (соответственно B_n, C'_n), дает результативный «останов» в каком-то состоянии из E_{n+1} .

Решением первой задачи (назовем ее A_n) будет, например:

0. $\Leftarrow 1$ 1. $\vee 2$ 2. stop

Решением второй задачи (B_n) будет, например:

0. $\Leftarrow 1$ 1. $\overset{?}{\langle} 2$
0 2. $\vee 3$ 3. stop

Решением третьей задачи (C'_n):

0. $\Leftarrow 1$ 1. $\overset{?}{\langle} 0$
2 2. $\Leftarrow 3$ 3. $\vee 4$ 4. stop.

¹ Отмеченные подряд секции называют *массивами*, а число ячеек (= секций) в массиве – его *длиной*.

² Протоколом машины Поста называется слово, составленное из всех последовательных состояний на ленте, возникавших в процессе работы алгоритма.

Пусть теперь имеем два алгоритма A_1 и A_2 , имеющих одинаковые области задания. Будем говорить, что A_1 и A_2 *равносильны*, если к любому исходному данному из их общей области задания они оба применимы (и в этом случае дают один и тот же результат), либо оба не применимы. В 1936 г. в работе [30] Э. Пост сформулировал свою знаменитую *гипотезу* («Гипотеза Поста»): *каждый алгоритм, все результаты которого суть натуральные числа, а областью задания служат \mathbb{N}_0^k ($k \geq 1, k \in \mathbb{N}$) или \mathbb{N}_0^∞ , равносильен алгоритму с той же совокупностью возможных исходных данных, задаваемому некоторой программой машины Поста [31, с. 68–69].*

Пусть задан алгоритм A либо на множестве $(0 \cup \mathbb{N})^k$, ($k \in \mathbb{N}$), либо на $(0 \cup \mathbb{N})^\infty$. Пусть результат применения A к любому исходному данному из $(0 \cup \mathbb{N})^k$ либо $(0 \cup \mathbb{N})^\infty$ (если такой результат существует) принадлежит $(0 \cup \mathbb{N})$. Положим:

$$f(x_0, \dots, x_k) = \begin{cases} \text{результат применения } A \text{ к } \langle x_0, \dots, x_k \rangle, \\ \text{если } A \text{ применим к } \langle x_0, \dots, x_k \rangle, \\ \text{не определено, если } A \text{ не применим к } \langle x_0, \dots, x_k \rangle. \end{cases}$$

Напомним, что про f говорят, что f *вычисляется алгоритмом A* или что алгоритм A *вычисляет функцию f* .

Функция $f: \mathbb{N}_o^k \rightarrow \mathbb{N}_o$ (или $\mathbb{N}_o^\infty \rightarrow \mathbb{N}_o$) называется *вычислимой*, если существует алгоритм, ее вычисляющий [31].

Функцию $f: \mathbb{N}_o^k \rightarrow \mathbb{N}_o$ (или $\mathbb{N}_o^\infty \rightarrow \mathbb{N}_o$) будем называть *вычисляемой по Посту*, если существует программа \mathbf{p} машины Поста, вычисляющая функцию f , т. е. \mathbf{p} обладает свойствами:

если $f(x_0, \dots, x_k) = y$, то программа \mathbf{p} , применяемая к исходному данному $\langle x_0, \dots, x_k \rangle$, заканчивает работу, оставляя на ленте запись числа «у».

если $f(x_0, \dots, x_k) = \emptyset$ (т. е. не определено), то применение программы \mathbf{p} к $\langle x_0, \dots, x_k \rangle$ не приводит к результативной остановке.

Теперь можно напомнить и знаменитый тезис Поста:

Пусть E одно из множеств \mathbb{N}_0^k ($k \in \mathbb{N}$), \mathbb{N}_0^∞ . Тогда класс вычислимых функций из E со значениями в \mathbb{N}_0 совпадает с классом функций из E со значениями в \mathbb{N}_0 , вычислимых на машине Поста.

Исторически сложилось так, что в том же 1936 г., когда была опубликована статья Э. Поста [30], Алонзо Черч (Alonzo Church: 1903–1995) опубликовал работу [32], в которой был тезис («тезис Черча»), равносильный тезису Поста:

Всякая всюду определенная вычислимая числовая функция является общерекурсивной¹.

Позже, в 1952 г. Стивен Клини (Stephen Kleene: 1909–1994) обобщил тезис Черча: *всякая* (не обязательно всюду определенная) *вычислимая функция частично рекурсивна*. Этот тезис, называемый «тезисом Клини-Черча», также эквивалентен тезису Поста.

Существуют и другие утверждения, эквивалентные тезису Черча: прежде всего утверждение, связанное либо с введенным в 1936 г. ленточным автоматом Алана Тьюринга (Alan Turing:

¹ Напомним, что *частично рекурсивными* называются *функции*, которые могут быть получены из тождественно нулевой функции и функции прибавления единицы ($f(x) = x + 1$) с помощью трех операций: 1) подстановки (функций в функцию), т. е. суперпозиции; 2) рекуррентного (= индуктивного, = рекурсивного) определения функции. Частично рекурсивные функции в общем случае определены не всюду. Если же частично рекурсивная функция определена всюду, то ее называют *общерекурсивной* (подробнее см. § 9). Здесь уместно добавить, что как работа Э. Поста [30], так и работа А. Черча [32] были развитием теоремы К. Геделя (Kurt Gödel: 1906–1978) о неполноте символических логик [33].

1912–1954) [34; 35], либо с «нормальными алгоритмами А. А. Маркова», либо с «алгоритмами А. Н. Колмогорова» и др.

Прежде чем перейти к истории ленточного автомата А. Тьюринга, рассмотрим несколько примеров функций, позволяющих пояснить причину возникновения в теории алгоритмов направления интуиционизма.

Итак, пусть

а) $v: \mathbb{N} \rightarrow 0$, $v(n) \equiv 0$ для любого $n \in \mathbb{N}$.

в) $w: \mathbb{N} \rightarrow 1$, $w(n) \equiv 1$ для любого $n \in \mathbb{N}$.

с) $q: \mathbb{N} \rightarrow \{0,1\}$, где

$$q(n) = \begin{cases} 1, & \text{если при любом } k \in \mathbb{N} \text{ в разложении числа } \pi \\ & \text{(в десятичной системе счисления) встречается} \\ & \text{отрезок ровно из } k \text{ девяток;} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

д) $q_1: \mathbb{N} \rightarrow \{0,1\}$, где $q_1 \equiv w$, если в разложении числа π есть сколь угодно длинные отрезки из девяток и $q_1 \equiv v$, в противном случае.

Наконец, рассмотрим функцию h :

е) $h: \mathbb{N} \rightarrow \{0,1\}$, где

$$h(n) = \begin{cases} 1, & \text{если в десятичном разложении числа } \pi \\ & \text{есть отрезок из } n \text{ девяток, окружённый не девятками;} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Так вот, интуиционисты¹, начиная от Л. Э. Я. Брауэра (L. E. J. Brouwer: 1881–1966), отвергают следующее утверждение:

$$q_1 \equiv q. \quad (*)$$

Можно также доказать, что если утверждение (*) верно, то, в силу очевидной вычислимости функций v и w , функция q также

¹ Подробнее см. [37; 48], при этом автор книги [48] Аренд Гейтинг (Arend Heyting: 1898–1980) сам был учеником Л. Брауэра.

будет вычислима. Что касается функции h , то *неизвестно*, вычислима эта функция или нет!

Упражнения

1. а) Выписать все программы машины Поста длины 1.

б) Сколько существует программ машины Поста длины 2, длины 3, длины n ? ($n \geq 4$).

2. Существует ли программа машины Поста, дающая при любом начальном состоянии:

а) результативную остановку;

б) безрезультативную остановку;

в) неограниченное продолжение работы?

Каково наименьшее число команд в этих программах?

3. Доказать, что если для некоторой программы известно, что существуют 3 начальных состояния, для которых программа дает соответственно: результативный «останов», безрезультативный «останов», неограниченное продолжение работы, то число команд в этой программе не менее 4. Написать все эти программы длины 4.

4. а) Написать такую программу машины Поста, которая, будучи примененной к произвольному состоянию $E_n (n \in \mathbb{N}_0)$, дает результативный «останов» в каком-либо состоянии из класса E_{n+1} .

б) Существует ли при этом программа из менее чем 23 команд?

5. Пусть $q \in \mathbb{N}_0 \setminus \{1\}$. Составить программу сложения произвольного количества чисел, записанных на произвольных, но не превосходящих q расстояниях друг от друга.

6. Пусть $f: \mathbb{N}_0^2 \rightarrow \mathbb{N}_0$ такая, что

$$f(x, y) = \begin{cases} x - y, & \text{если } x \geq y \\ \emptyset, & \text{если } x < y \end{cases}$$

Функцию f называют *вычитанием*.

Составить программу вычитания одного числа из другого, учитывая, что если $f(x, y) = \emptyset$, то программа не должна приводить к результирующей остановке.

7. Составить программу деления чисел на 2, 3, 4, ..., k . Под делением будем понимать вычисление функции

$$f_g(x, y) = k \in \mathbb{N}, \quad \text{если } (ky \leq x \ \& \ (k+1)y > x),$$

где $(x, y) \in \mathbb{N}_0^2, \quad x \geq y$.

8. Составить программу умножения двух чисел $(x, y) \in \mathbb{N}$.

9. Составить программу вычисления квадрата числа $x \in \mathbb{N}$.

10. Докажите, что множество программ машины Поста не более чем счетно.

11. Пусть множество программ машины Поста пронумеровано (см. упр. 10). Пусть $f: \mathbb{N} \rightarrow \mathbb{N}_0 = \mathbb{N} \cup \{0\}$, такая, что

$$f(n) = \begin{cases} 0, & \text{если применение программы Поста } p_n \text{ к числу } n \\ & \text{не приводит к результирующему «останову» или} \\ & \text{если результат не есть запись натурального числа;} \\ k + 1, & \text{если применение программы } p_n \text{ к числу } n \\ & \text{дает результат, являющийся записью числа } k. \end{cases}$$

Доказать, что так построенная функция не вычислима на машине Поста.

Указание: Рассмотреть оба случая. При этом в случае отсутствия результирующего «останова» или, если результат не есть запись никакого натурального числа, учесть, что программа не вычисляет f потому, что f определена на всем \mathbb{N} .

§ 8. Вычислительная модель Тьюринга. Машина фон Неймана

Как уже отмечено выше, 1936 г. был годом появления сразу трех выдающихся работ по теории алгоритмов: Э. Поста, А. Тьюринга и А. Черча соответственно. Отметим, что в примечании редакции к статье Э. Поста сказано: «Читателю рекомендуется сравнить статью А. М. Тьюринга “О вычислимых числах”, должествующую появиться вскоре в журнале “Лондонского математического общества”. Настоящая статья [т. е. статья Поста], однако, хотя и имеет более позднюю дату¹, написана совершенно независимо от статьи Тьюринга».

Что же убедило редакцию журнала в этом утверждении? Прежде всего то, что машины Поста и Тьюринга описывают разные вычислительные модели.

Итак, машина Тьюринга – это ленточный автомат с двумя алфавитами – *внутренним* (называемым также алфавитом состояний) алфавитом $S = \{q_0, q_1, \dots, q_n\}$, содержащим всегда *начальное* состояние q_0 и q_1 – конечное состояние, и *внешним* Σ , состоящим из произвольных символов, который содержит символ a_0 (пустоты секции (= ячейки)) и не содержит символов внутреннего алфавита, а также содержит символы R и L.

Напомним, что машина Тьюринга управляется командами трех типов:

- 1) $q_i a \rightarrow q_j b$, если в состоянии $q_i \in S$ наблюдается ячейка с символом $a \in \Sigma$, то перейти в состояние $q_j \in S$ и поместить в данную ячейку символ $b \in \Sigma$.

¹ Статья Тьюринга поступила в редакцию 28 мая 1936 г., а статья Поста – осенью того же года.

- 2) $q_i a \rightarrow q_j b R$, если в состоянии $q_i \in S$ наблюдается ячейка с символом $a \in \Sigma$, то перейти в состояние $q_j \in S$ и поместить в данную ячейку символ $b \in \Sigma$, после чего перейти к обозрению соседней *справа* ячейки.
- 3) $q_i a \rightarrow q_j b L$, если в состоянии $q_i \in S$ наблюдается ячейка с символом $a \in \Sigma$, то перейти в состояние $q_j \in S$ и поместить в данную ячейку символ $b \in \Sigma$, после чего перейти к обозрению соседней *слева* ячейки.

Комбинацией на ленте называют слово, составленное из символов минимального по включению набора идущих подряд ячеек, содержащего все ячейки ленты, заполненные не промежуточными данными¹, и обозреваемую ячейку, с вставкой символа внутреннего алфавита перед символом обозреваемой ячейки, соответствующего текущему состоянию машины Тьюринга.

В итоге, любой протокол машины Тьюринга всегда начинается с символа q_0 .

Команда считается *применимой* к данной комбинации на ленте, если в этой комбинации в качестве подслова встречается левая часть этой команды.

Программой машины Тьюринга считаем произвольное (неупорядоченное) множество команд (над выбранной парой конечных алфавитов), левые части которых попарно различны.

Протоколом работы машины Тьюринга называем слово, составленное из всех последовательных комбинаций на ленте, разделенных пробелами.

Машиной Тьюринга называют пару алфавитов и программу над ними.

¹ Их называют *бланками*.

Заметим, что, как и машина Поста, машина Тьюринга относится к числу ленточных автоматов.

Скачок в теории алгоритмов был сделан еще во время Второй мировой войны великим американским математиком Джоном фон Нейманом (John (Janos) von Neumann: 1903–1957). Им была создана модель компьютера (компьютер фон Неймана), удовлетворяющая трем принципам:

1. Программа состоит из набора команд, которые выполняются (автоматически) в определенной последовательности друг за другом (= принцип программного управления).

2. Основная память состоит из перенумерованных ячеек; при этом процессору в любой момент доступна каждая ячейка (= принцип адресности).

3. Программы и данные хранятся в одной и той же памяти, и над командами можно выполнять те же действия, как и над данными (= принцип однородности памяти).

Таким образом, компьютер фон Неймана имеет как минимум три элемента:

а) центральный процессор, выполняющий команды программы;

б) оперативную память, в которой хранится программа и обрабатываемые ею данные;

в) информационную магистраль, по которой происходит обмен информацией между центральным процессором и оперативной памятью.

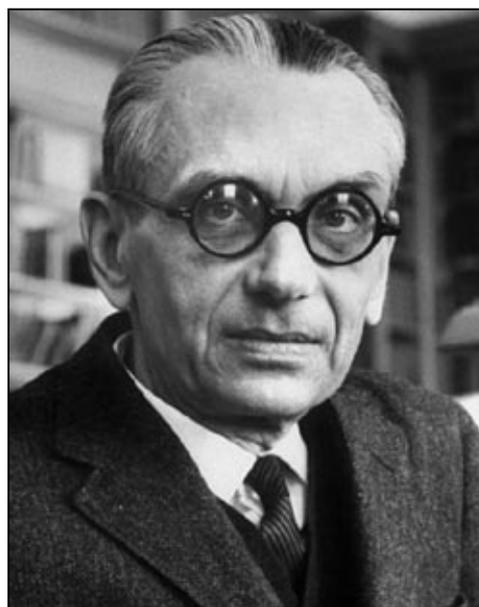
Напомним, что главное отличие ленточных автоматов (включая машины Поста и Тьюринга) от других компьютеров проявляется в определении сложности алгоритма. Для подавляющего числа алгоритмических проблем ленточные автоматы дают завышенные оценки сложности по сравнению с машинами с произвольным доступом к памяти, созданными на основе компьютера фон Неймана.

Прежде чем перейти к другим вычислительным моделям (нормальным алгорифмам А. А. Маркова и частично-рекурсивным функциям), напомним некоторые этапы жизни К. Геделя, Э. Поста, А. Тьюринга и Дж. фон Неймана.

На их жизнь и творчество в огромной степени повлияли катаклизмы XX в., и прежде всего появление фашистской идеологии с ее нетерпимостью к неарийцам.

Начнем с Курта Геделя (Kurt Gödel: 1906–1978), чьи теоремы о неполноте (1931)¹ оказали огромное влияние на других членов четверки.

Родившись в Австро-Венгрии в городе Брюни (ныне Брно – Чехия), побывав гражданином Чехословакии, затем Австрии, а с поглощением Германией в 1936 г. Австрии – гражданином Германии, Курт Гедель в 1940 г. бежит через СССР в США. Там он работает в Институте Перспективных Исследований в Принстоне (штат Нью-Джерси) до самой смерти (от истощения, в силу психического заболевания) [51].



Курт Гедель

¹ Сформулируем «пунктиром» только одну из них: «Любая эффективно аксиоматизируемая теория (т. е. теория, в которой есть возможность алгоритмически решить, является ли данное утверждение аксиомой) в достаточно богатом языке, т. е. языке, в котором можно определить понятие натурального числа и операций сложения и умножения, является либо неполной, либо противоречивой». Неполнота, напомним, означает наличие высказываний, которые нельзя ни доказать, ни опровергнуть, исходя из аксиом этой теории, а противоречивость – это возможность доказать любое высказывание, как истинное, так и ложное.

Теперь несколько слов о родившемся в 1897 г. в Российской Империи в Августове (теперь Польша) Эмиле Посте. Его отец в том же 1897 г. уезжает (с братом) на заработки в США, отсылая деньги жене на троих детей. В 1904 г. семья соединилась в Нью-Йорке в Гарлеме. С детства Эмиль интересовался астрономией, позже математикой. В 1917 г. он получил степень бакалавра по математике в Городском колледже (City College) Нью-Йорка. В 1917–1920 гг. Э. Пост учится в аспирантуре Колумбийского университета; в 1920–1921 гг. – стажер Принстонского университета. А уже в 1923 г. Эмиль Пост в сообщении, сделанном на ежегодном съезде Американского матобщества (AMS), обобщил понятие дифференцируемости, опубликованном в 1930 г. [109].

С 1932 г. и до конца жизни (1954) Э. Пост преподает в Городском колледже. Основные работы Э. Поста (кроме создания ленточного автомата) связаны с математической логикой [50]. (О значении этих работ для представления знаний в системах искусственного интеллекта будет сказано в главе III § 13.)



Алан Тьюринг

В 1954 г. обрывается жизнь¹ самого молодого из четырех упомянутых выше математиков.

Алан Тьюринг родился в 1912 г. в Лондоне, куда семья возвратилась из Индии, где его отец был служащим администрации². В 6 лет Алана отдают в школу Св. Михаила в Лондоне, позже он учится в Тринити Колледже (Кембридж) и Коро-

¹ А. Тьюринг принял яд после двухлетней травли, связанной с его гомосексуальностью.

² British Civil Service.

левском Колледже (King's College); в 1935 г. заканчивает учебу в Кембриджском университете. В 1936 г. А. Тьюринг публикует свою версию ленточного автомата.

Во время Второй мировой войны А. Тьюринг участвует в работах по дешифровке немецких радиодонесений (раскрытию секретов «Enigma») (см. выше). Работая над созданием программ для вычислительных машин, А. Тьюринг в 1949 г. строит первую шахматную программу. Он фактически подошел вплотную к изучению проблемы NP-сложности, не решенной до сих пор [52; 53].

Родившийся, как и Курт Гедель, в Австро-Венгрии (Будапешт) Джон фон Нейман (John von Neumann: 1903–1957) был одним из величайших математиков XX в. Дж. фон Нейман был старшим сыном известного еврейского банкира, получившего титул барона при Императоре (1848–1916) Франце Иосифе I (1830–1916). Венгерское имя Янош трансформировалось при переезде в США в 1933 г. в Джон. В 17 лет отец, желавший видеть сына продолжателем своего банкирского дела, соглашается с выбором сына в качестве основной специальности химии как компромисс между увлечением сына математикой и необходимостью изучать финансы. В 18 лет Нейман покидает Венгрию и становится студентом Берлинского университета (1921–1923), позже он продолжил учебу в Цюрихе в Технологическом институте (1923–1925). В 1926 г. он получает два диплома: инженера-химика в Цюрихе и ди-



Джон фон Нейман

плом доктора¹ наук (по математике) за диссертацию по теории множеств.

В том же 1926 г. фон Нейман был, как он позже вспоминал, «раздавлен» опубликованным парадоксом Банаха-Тарского² о том, что трехмерный шар евклидова пространства равносоставлен (из конечного числа кусков) двум своим копиям (см. [39–40]).

И в доказательстве парадокса Банаха-Тарского, и в доказательстве теоремы Хаусдорфа³ особую роль играет следующая схема:

1. Ищется специальное разбиение некоторой группы Γ с двумя образующими на три подмножества.

2. Строится свободное изометрическое действие этой группы на заданное множество (это шар в парадоксе Банаха-Тарского и S^2 ⁰ – в теореме Ф. Хаусдорфа).

3. Используется разбиение Γ и аксиома выбора, чтобы произвести нужное разбиение шара (соответственно сферы) [41].

В 1929 г.⁴ размышления фон Неймана над этим парадоксом привели его к понятию *аменабельной дискретной группы*⁵, значение которой для развития теории алгоритмов постоянно возрастает.

¹ Соответствует степени кандидата наук в России.

² Парадокс Банаха-Тарского и теорема Ф. Хаусдорфа доказываются фактически одинаково. В парадоксе Банаха-Тарского это сделано с помощью сдвига.

³ В 1914 г. Ф. Хаусдорф доказал теорему о том, что двумерная сфера S^2 с проколотым счетным множеством T (т. е. S^2 ⁰ = $S^2 \setminus T$) может быть представлена в виде: S^2 ⁰ = $A \cup B \cup C$, где $A \cap B = \emptyset$, $A \cap C = \emptyset$, $B \cap C = \emptyset$ и при этом A , B , C конгруэнтны друг другу и конгруэнтны B и C .

⁴ В 1939 г. аменабельные топологические группы стал рассматривать Н. Н. Боголюбов.

⁵ Аменабельная группа есть группа, на которой есть ненулевая мера, принимающая конечные значения на всех подмножествах и инвариантная относительно (правого) действия группы на себя.

С 1927 г. фон Нейман начинает преподавать математику в германских университетах: в 1927–1929 гг. – в Берлинском, в 1929–1930 гг. – в Гамбурге. Усиление влияния нацистов в Германии вынуждает фон Неймана принять решение об эмиграции в США. С 1933 г. он преподает математическую физику в Принстонском университете. Принятию в столь престижный университет способствовала вышедшая в 1932 г. книга Дж. фон Неймана о математических основах квантовой механики и плодотворное использование в ее изложении математической логики [42].

Еще работая в Берлинском университете, фон Нейман сделал попытку математической формализации теории конфликтов, названных им деликатно «общественными играми» (см. [38]).

Развитие этой работы привело через 16 лет (в 1944 г.) к появлению основополагающего труда (совместно с Оскаром Morgenstern (Oskar Morgenstern: 1902–1977) «Теория игр и экономическое поведение», оказавшего огромное влияние на развитие социологии, экономики и военного дела [43].

В 1933 г. Дж. фон Нейман избирается профессором Института прикладных исследований в Принстоне и работает там до своей кончины в 1957 г. В 1943–1955 гг. он одновременно является консультантом Научно-исследовательской лаборатории в Лос-Аламосе, занимавшейся «атомным» проектом. Для решения вычислительных задач, возникавших в рамках этого проекта, фон Нейман и предлагает свою концепцию вычислительной машины. В 1952 г. под его руководством заканчивается строительство компьютера в Принстоне, реализующего его идеи (см. выше гл. I, а также [54]).

§ 9. Вычислительные модели Маркова и Клини

В 1949 г. сын знаменитого российского математика А. А. Маркова (1856–1922) Андрей Андреевич Марков (младший) (1903–1979) создал свою вычислительную модель, столь же наглядную, как и ленточные автоматы Поста и Тьюринга, но использующую меньшее число команд (см. [44; 46]).

Напомним, что в этой модели в качестве структуры данных выступает список символов, т. е. последовательность ячеек переменной конечной, но неограниченной длины, в которые помещаются символы конечного алфавита. Иными словами, состояние конечной модели описывается на каждом шаге словом над некоторым алфавитом. При этом программа нормального алгоритма представляет собой упорядоченный список команд, каждая из которых имеет один из двух форматов:

$A \rightarrow B$ (замена в текущем слове подслова¹ A на слово B)



А. А. Марков

$A \rightarrow |B$ (замена в текущем слове подслова A на слово B и окончание выполнения программы).

Команда в модели Маркова считается применимой к данному слову, если ее левая часть является подсловом этого слова.

Результатом применения команды к слову становится новое слово, отличающееся от исходного тем, что первое слева вхождение подслова A заменено словом B .

¹ Слово «с» является подсловом слова «в», если «в» представимо в виде $b = lar$, где l и r некоторые, возможно, пустые слова. (Пустое слово будем обозначать через Λ).

Очередной шаг в модели Маркова заключается в том, чтобы в списке команд найти первую, применимую к текущему слову. При этом использовать ее и остановиться в случае команды второго формата, и приступить к выполнению следующего шага в случае команды первого формата. В качестве правой или левой части команды может выступать и пустое слово Λ . Первое его вхождение в текущее слово определено как место перед крайним левым символом.

Например, пусть дан алфавит $\{a,b\}$ и пусть задан алгоритм Маркова над этим алфавитом формата: $a \rightarrow b$. Этот алгоритм меняет первую слева букву «а» обрабатываемого слова на букву «в», пока команда не перестанет быть применимой, т. е. алгоритм заменяет все буквы «а» исходного слова на буквы «в» [46].

Что же послужило толчком к появлению нормального алгоритма Маркова? Это связано прежде всего с развитием конструктивной математики, берущей свое начало в трудах Лейтзен Эгберта Яна Брауэра (Luitzen Egbert Jan Brouwer Luitzen Egbert Jan: 1881–1966)¹ и Германа Вейля (Hermann Weyl: 1885–1955) [47]. Их критические тезисы об имевших хождение в тот период теоремах существования, не «предъявлявших» конкретного объекта, фактически были направлены против «жонглирования» понятием актуального бесконечности. Они выступили инициаторами создания математики (прежде всего математического анализа), в которой в качестве объектов изучения фигурируют лишь конструктивно определяемые объекты. (Такое направление в математике было названо интуиционизмом) (см. [47; 48; 55]).

К сожалению, достаточно длительно неприятие большинством математического сообщества этих идей, ограничивающих, по мнению многих математиков, математический инструментарий,

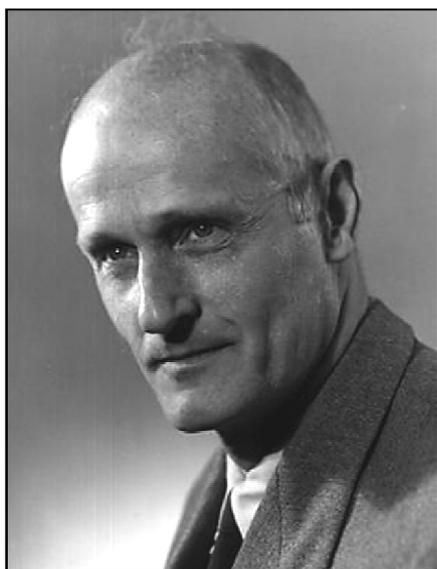
¹ Brouwer L. E. J. *Intuitionisme en formalisme*. – Amsterdam, 1912.

привело к определенным трудностям в изучении основ самой математики.

А. А. Марков высказал в 40-х гг. мысль о том, «что различные идеализации, фактически применяемые в современной математике, далеко не одинаковы с точки зрения возможности содержательного истолкования математических теорем, в основе которых лежат эти идеализации». В настоящее время имеется реальная возможность осуществлять пересмотр основ анализа. Она обеспечивается разработанностью теорий, связанных с точным определением таких понятий, как «вычислимая арифметическая функция» и «алгоритм» [46, с. 315–316].

В этой связи следует сказать, что нормальный алгоритм Маркова позволяет строить по заданным алгоритмам новые алгоритмы, обладающие заданными свойствами¹.

В приведенной выше цитате А. А. Маркова упомянута «вы-



Стивен Клини

числимая арифметическая функция». Ясность в ее определении и значение для теории алгоритмов внесла работа 1945 г. Стивена Коула Клини (Stephen Cole Kleene: 1909–1994) «Об истолковании интуиционистской теории чисел»².

К Клини мы еще вернемся. А сейчас заметим только, что А. А. Маркова не удовлетворяло и понятие мощности бесконечных множеств, когда часть может быть равносильна целому множеству.

¹ А. А. Марков был разносторонним математиком. Основные труды у него были по топологии, топологической алгебре, теории динамических систем, конструктивной математике и теории алгоритмов (= алгоритмов). (Биография А. А. Маркова дана в § 10.)

² Kleene S. C. *On the interpretation of intuitionistic number theory* // J. Symb. Logic. – 10 (1945). – P. 109–124.

По этому поводу отметим, что обойти трудности актуальной бесконечности математики попытались с помощью нестандартного анализа (подробнее см. [3; 49]). Но пока в этой области реальные новые результаты¹ еще сравнительно скромны.



Я. Д. Сергеев

Другой подход возник на рубеже XX и XXI вв. и связан с работами нижегородского математика Ярослава Дмитриевича Сергеева (р. 1963). Он придумал арифметику, восходящую к идеям итальянских математиков последней трети XIX в., включая У. Дини (1845–1918), Д. Пеано (1858–1932), и объединяющую конечные и бесконечные числа². В основе этой арифметики лежит понятие гросс-единицы (grossone). Гросс-единица – это бесконечное число, обозначаемое через Φ , равное по определению количеству элементов в \mathbb{N} – множестве натуральных чисел, т. е. $\mathbb{N} = \{1, 2, 3, \dots, \Phi - 1, \Phi\}$, а Φ – самое большое натуральное число³.

Это число выбирается в качестве основания новой системы счисления. Множество конечных и бесконечных чисел можно раскрыть как

$$\mathbb{N} = \{1, 2, 3, \dots, \Phi - 1, \Phi, \Phi + 1, \dots, \Phi^2 - 1, \Phi^2, \Phi^2 + 1, \dots\}.$$

¹ Ловягин Ю. Н. *Гиперрациональные числа как основа математического анализа* // Вестник Сыктывкарского ун-та. – Сер. 1. – Вып. 7 (2007). – С. 17–34.

² Не путать с порядковыми числами.

³ Роль Φ фактически сравнима в вычислительных процессах с ролью бесконечно большого числа M в M -задачах при использовании симплекс-метода.

Отметим, что множество всех четных положительных чисел содержит $\Phi/2$ чисел.

Через $1/\Phi$ обозначают простейшее по записи бесконечно малое число.

Важным постулатом для арифметики Сергеева является следующий: *любой процесс суммирования содержит не более Φ шагов*¹.

Вернемся теперь вновь в 1936 г. Кроме работ Поста и Тьюринга о ленточных автоматах, о которых шла речь выше, в этот год появились две работы С. К. Клини «Общие рекурсивные функции натуральных чисел» [56] и «Определяемость и рекурсивность»².

В этих работах Клини уже практически отвечает Э. Посту, который написал в своей работе «Финитные комбинаторные процессы»: «Автор ожидает, что его формулировка (т. е. вычислимости по Посту) окажется логически эквивалентной рекурсивности в смысле Геделя-Черча» [30].

Напомним, что три следующие функции называют *простейшими*. Число в верхнем индексе будет означать количество переменных. Сами функции – это функции нескольких натуральных переменных со значениями из множества

$$\mathbb{N}_0 = \mathbb{N} \cup \{0\}.$$

Итак:

- 1) $0^{(1)}(x) = 0$ – обнуление;
- 2) $s^{(1)}(x) = x + 1$ – инкремент;
- 3) $I_n^{(m)}(x_1, \dots, x_n, \dots, x_m) = x_n, (1 \leq n \leq m)$ – выбор (или проекция).

¹ Sergeyev Ya. D. *Arithmetic of infinity*. – Edizioni Orizzonti Meridionali, CS. 2003. – 112 p.

² Kleene S. K. *Definability and recursiveness* // Duke Math. J. – V. 2 (1936). – P. 340–353.

Функцию называют *частично рекурсивной*, если она получается из простейших с помощью применения конечного числа трех операций: суперпозиции, примитивной рекурсии и минимизации. Оператор ввода:

$$\left(g^{(n)}(x_1, \dots, x_n), h^{(n+2)}(x_1, \dots, x_{n+2}) \right) \xrightarrow{p} f^{(n+1)}(x_1, \dots, x_{n+1})$$

$$f^{(n+1)}(x_1, \dots, x_n, 0) = g^{(n)}(x_1, \dots, x_n)$$

$$f^{(n+1)}(x_1, \dots, x_n, y+1) = h^{(n+2)}\left(x_1, \dots, x_n, y, f^{(n+1)}(x_1, \dots, x_n, y)\right)$$

будем называть оператором примитивной рекурсии.

Функцию называют *общерекурсивной*, если она частично рекурсивна и всюду определена.

Наконец, *примитивно рекурсивными* называют функции, получаемые из простейших с помощью конечного числа применений операторов суперпозиции и примитивной рекурсии.

Впервые общерекурсивная функция, не являющаяся примитивно рекурсивной, была построена учеником Д. Гильберта Вильгельмом Аккерманом (Wilhelm Ackermann: 1896–1962) в бытность его еще студентом, но доказательство того, что она не будет примитивно рекурсивной, им дано только в 1928 г. Широко распространенное в информатике видоизменение функции Аккермана, зависящей уже только от двух аргументов, принадлежит Руже Петер (Pólya Péter: 1905–1977) и Рафаэлю Робинсону (Raphael Mitchell Robinson: 1911–1995) (см. [45, с. 5]). Функция двух переменных Аккермана-Петер имеет следующий вид:



Ружа Петер

$$A(m,n) = \begin{cases} n+1, & \text{при } m=0, n \geq 0; \\ A(m-1,1), & \text{при } m > 0, n=0; \\ A(m-1, A(m,n-1)), & \text{при } m \geq 1, n \geq 1 \end{cases}$$

$$(m, n \in \mathbb{N}_0 = \mathbb{N} \cup \{0\})$$

Поскольку вычислительная модель Клини, т. е. теория частично рекурсивных функций, не похожа на вычислительную модель, то напомним, что структурой данных этой модели служит список конечных подмножеств множества натуральных чисел, предполагая, что список имеет конечную, но, вообще говоря, неограниченную длину, а командой называют один из трех операторов (суперпозиции, примитивной рекурсии и минимизации), примененных к списку частично-рекурсивных функций.

Отметим, что А. А. Марков дополнил существенно теорему С. К. Клини о представлении частично рекурсивных функций через примитивно рекурсивные, – точнее, им дана полная характеристика примитивно рекурсивных функций, допустимых в качестве внешней функции в формуле С. К. Клини¹ (см. [55]).

А теперь несколько слов о творцах теории рекуррентных функций: С. С. Клини, В. Аккермане, Р. Петер и Р. Робинсон, а также о научном руководителе С. К. Клини – профессоре Алонзо Черче (Alonzo Church: 1903–1995).

А. Черч родился в Вашингтоне в семье судьи. Степень бакалавра получил в Принстонском университете в 1924 г. Степень Ph. D. – там же в 1927 г. Затем один год преподавал в университете Чикаго. Позже по одному году был на стажировке в универ-

¹ Kleene S. *On the forms of the predicates in the theory of constructive ordinals* // Amer. J. Math. – V. 66 (1944) (см. также [57]).

ситетах Гарварда, Геттингена и Амстердама. Начиная с 1929 г., Черч преподает в университете Принстона (до 1967 г.), а затем в Калифорнийском университете в Лос-Анджелесе (до 1990 г.). После статьи 1936 г. [32], в которой были продемонстрированы алгоритмически неразрешимые задачи, Черч построил теорию λ -исчисления, которое имело свойства, одинаковые с машиной Тьюринга¹.

Стивен Коул Клини (Stephen Cole Kleene: 1909–1994) родился и жил в США. В 1930 г. он получил степень бакалавра в Амхерст Колледже, а степень Ph. D. в 1934 г. в Принстонском университете, где его научным руководителем был Алонзо Черч.

С 1935 г. С. К. Клини был связан с университетом Висконсин-Мэдисон. В 1939–1941 гг. он был на стажировке в Принстонском Институте Перспективных исследований. Когда США стали участвовать во Второй мировой войне (1941–1945), С. К. Клини служил в Военно-морском флоте США в качестве инструктора по навигации. В 1961 г. С. К. Клини избирается президентом Международного союза истории и философии науки [58]. Наиболее знаменита его книга «Введение в метаматематику».

Вильгельм Аккерман (Wilhelm Ackermann: 1896–1962) – немецкий математик. Он поступил в университет в Геттингене в 1914 г., продолжил там же учебу после Первой мировой войны. В 1925 г. под руководством Д. Гильберта он защищает диссертацию и получает степень Ph. D. В течение четырех лет (с перерывом на поездку в Кембридж на полгода как Рокфеллеровский стипенди-

¹ Enderton H. B. *In memoriam: Alonzo Church* // The Bull. of Symbol. Logic. – Vol. 1. – No 4 (Dec. 1995). – P. 486–488.



Вильгельм Аккерман

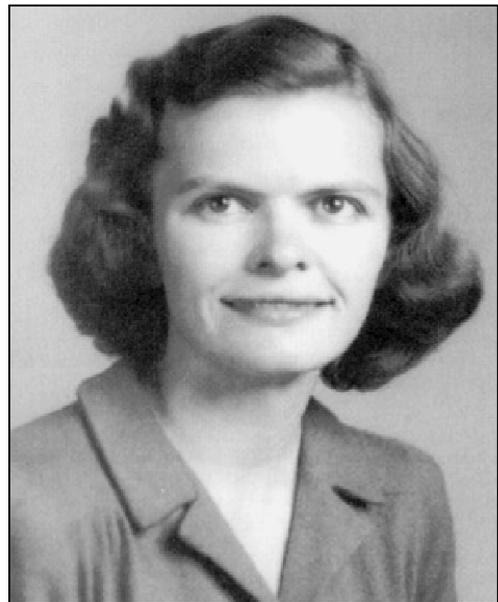
ат), В. Аккерман исполняет обязанности секретаря Д. Гильберта. С 1929 по 1948 г. и с 1949 по 1961 г. В. Аккерман работает учителем в гимназии Арнольдинум (Arnoldinum) в Бургштайнфурте и затем в Люденшайде¹. В 1957 г. выходит его знаменитая книга: «Философские замечания относительно математической логики и исследований оснований математики», сразу переведенная и на английский язык [59]. За работы по теории множеств и основаниям логики В. Аккерман был избран почетным профессором университета в Мюнстере.

Ружа Петер (Rózsa Péter в девичестве Politzer) (1905–1977), поступив в Университет Эствос Лоранд, намеревалась изучать химию, но начав слушать лекции всемирно известного математика Липота Фейера (Lipót Feier: 1880–1959), заинтересовалась математикой. Другой математик Лашло Кальмар (László Kalmar: 1905–1976) впервые обратил ее внимание на рекурсивные функции. В 1932 г. на IX Математическом Конгрессе в Цюрихе была представлена ее работа, в которой исследователь впервые предложила выделить изучение рекурсивных функций в отдельное направление. В 1935 г. Ружа Петер получает степень Ph. D. и ее приглашают в журнал «Symbolic Logic» редактором. Во время Второй мировой войны она была в Будапештском гетто, чудом выжила. После войны Ружа Петер преподает в педагогическом

¹ Remus D. *Professor Wilhelm Ackerman, Lehrer am Arnoldinum und Forscher in der Mathematik // 400 Jahre Arnoldinum 1588–1988. Festschrift.* – Greven, 1988. – S. 211–219.

колледже, а затем с 1955 г. она уже профессор университета, в котором когда-то училась. В 1951 г. выходит ее монография «Рекурсивные функции», а в 1976 г. – знаменитая книга «Recursive Functions in Computer Theory». Именно выход этой книги способствовал использованию функции Аккермана-Петер для графического изображения всевозможных поверхностей, использующихся в строительстве, навигации и военном деле.

Другим видоизменением оригинальной функции Аккермана занялся **Рафаэль Митчелл Робинсон** (Raphael Mitchel Robinson: 1911–1995). Он родился в Калифорнии. В 1932 г. получил степень бакалавра, а в 1935 г. – Ph. D. Обе степени – по математике, в Университете Беркли. Вскоре после 1942 г. начинается его интенсивная работа над теорией «существенной неразрешимости» А. Тарского (в 1939 г. Тарский переезжает из Польши в США), завершившаяся изданием в 1953 г. совместного труда «Неразрешимые теории»¹ (в 1941 г. Р. М. Робинсон женится на своей бывшей студентке Джулии Баумэн (Julia (Bowman) Robinson: 1919–1985), ставшей самой известной женщиной-математиком второй половины XX в., первой женщиной-президентом Американского Математического общества). Отметим еще его работы (1952) по компьютерному изучению чисел Мерсенна, т. е. простых чисел вида $M_n = 2^n - 1$. Проблема су-



Джулия Робинсон

¹ Tarski A., Mostowski A., Robinson R. M. *Undecidable theories*. – Amsterdam: North Holland, 1953.

уществования бесконечного множества чисел Мерсенна до сих пор не решена¹.

Упражнения

Составить протоколы Алгоритмов Маркова для следующих задач:

- | | | |
|---|---|---|
| <p>1.</p> $ca \rightarrow aec$
$cb \rightarrow bc$
$c \rightarrow d$
$ea \rightarrow ae$
$eb \rightarrow be$
$ed \rightarrow da$
$d \rightarrow \Lambda$
$\Lambda \rightarrow c$ | <p>2.</p> $ca \rightarrow abc$
$cb \rightarrow bc$
$c \rightarrow \Lambda$
$\Lambda \rightarrow c$ | <p>3.</p> $ga \rightarrow ag$ $ed \rightarrow da$
$gb \rightarrow bg$ $fe \rightarrow db$
$g \rightarrow d$ $ca \rightarrow ce$
$ea \rightarrow ae$ $cb \rightarrow cf$
$eb \rightarrow be$ $cd \rightarrow \Lambda$
$fa \rightarrow af$ $\Lambda \rightarrow cg$
$fb \rightarrow bf$ |
|---|---|---|

§ 10. Проблемы разрешимости и перечислимости

Вернемся теперь к проблеме алгоритмической разрешимости. Поскольку каждому алгоритму решения некоторой задачи соответствует некоторое частичное отображение одного счетного множества в другое, а большинству таких отображений может соответствовать по несколько алгоритмов, решающих ту же задачу, то такую задачу будем именовать *алгоритмически разрешимой массовой проблемой*, а алгоритмы, соответствующие порожденному ею частичному отображению, – алгоритмами решения массовой проблемы.

Пусть P_M – произвольный предикат, заданный на более чем счетном множестве M_0 . Этому предикату P_M соответствует частичное отображение $f_M : M_0 \dashrightarrow \{0,1\}$.

¹ Henkin L. *In memoriam: Raphael Mitchell Robinson* // Bull. Symbol. Logic 1 (1995). – P. 340–343.

Прообраз $M = f_M^{-1}(1) = \{m \in M_0 : f_M(m) = 1\}$ – множество истинности предиката. Предикат P_M и соответствующее множество M_0 называют *перечислимыми*, если функция f_M вычислима, т. е. существует алгоритм, который для любого набора значений m переменных, принадлежащего области определения предиката, за конечное число шагов определяет истинное или ложное значение предиката, или, что равносильно, перечислимое множество M может алгоритмически генерироваться (т. е. что существует вычислимая генерирующая последовательность $g : \mathbb{N}_0 \dashrightarrow M_0$ ¹, такая, что $g(\mathbb{N}_0) = M$).

Перечислимое множество M (перечислимый предикат P_M) называют *разрешимым*, если область определения соответствующей ему вычислимой функции $f_M : M_0 \dashrightarrow \{0,1\}$ совпадает с универсальным множеством для $f_M : M_0 \rightarrow \{0,1\}$.

Существуют перечислимые множества, но не разрешимые. Действительно, пусть p – вычислимая функция, не имеющая всюду определенного вычислимого продолжения. Тогда ее область определения D и будет неразрешимым множеством².

Более того, имеет место строгое утверждение: подмножество $M \subset N$ перечислимо тогда и только тогда, когда для него можно построить разрешимое множество $P \subset \mathbb{N}_0^2$ так, что

¹ Знак \dashrightarrow означает отображение «в», при этом область D задания f_M может быть частью некоторого универсального множества H_0 , которое замкнуто относительно операций объединения, пересечения и дополнения подмножеств из M_0 . Например, функция $f(x) = 1/x$, при $x > 0$. Тогда в качестве M_0 возьмем $[0,1]$.

² Если бы это было не так, то функция $v(x) = \begin{cases} p(x), & x \in D \\ 0, & x \notin D \end{cases}$ была бы вычислимой всюду ее продолжением, а это неверно.

$$x \in M \Rightarrow \exists_{y \in \mathbb{N}_0} : (x, y) \in P.$$

Иными словами, множество перечислимо тогда и только тогда, когда оно является проекцией разрешимого множества.

Впервые применил полученный результат к разделу математической логики (теория доказательств) в 1943 г. Эмиль Пост¹. Его результат гласит: *множество всех выводимых в явно заданной формальной аксиоматической теории формул перечислимо.*

Предположим теперь, что задано порождающее множество (алфавит) и конечное число определяющих соотношений. Рассмотрим следующую массовую проблему \wp : являются ли равномерными два данных слова над исходным алфавитом при заданных определяющих соотношениях?

В 1947 г. А. А. Марков и Э. Пост опубликовали независимо друг от друга следующий результат²: Для решения проблемы с произвольным набором определяющих соотношений алгоритма не существует, и, более того, для некоторых полугрупп с заданной системой определяющих соотношений нет алгоритма, распознающего равенство слов³.

В 1956 г. Григорий Самуилович Цейтин (р. 1936) привел простой пример⁴ такой полугруппы с 5 образующими $\{a, b, c, d, e\}$ и 7 определяющими соотношениями:

$$\begin{aligned} ac = ca; \quad ad = da; \quad bc = cb; \quad bd = db; \\ abac = abacc; \quad cca = ac; \quad adb = bc. \end{aligned} \quad (\text{см. также [45, с. 83]})$$

¹ Post E. L. *Formal Reductions of the General Combinatorial Decision Problem* // Amer. J. of Math. – 66 (1943). – P. 197–215.

² Post E. L. *Recursive unsolvability of problem of Thue* // Journ. Symb. Logic. – № 12 (1947). – P. 1–11.

³ Марков А. А. *Невозможность некоторых алгоритмов в теории ассоциативных систем* // ДАН СССР. – Т. 55 (1947). – С. 587–590.

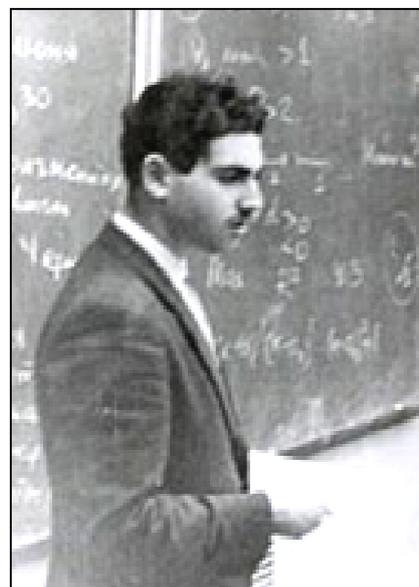
⁴ Цейтин Г. С. *Ассоциативное исчисление с неразрешимой проблемой эквивалентности* // ДАН СССР. – Т. 107. – № 3 (1956). – С. 370–371.

Заметим, что еще в 1950 г. А. М. Тьюринг построил полугрупповое исчисление с сокращениями, для которого неразрешима проблема распознавания эквивалентности слов. В 1952 г. П. С. Новиков, основываясь на этой работе А. М. Тьюринга, построил конечно-определенную группу с неразрешимой проблемой распознавания эквивалентности слов [64].

В 1958 г. А. А. Марков решил проблему гомеоморфии, т. е. проблему разыскания «алгоритма», распознающего для любых данных полиэдров, гомеоморфны ли они.

При этом полиэдры задаются комбинаторно их триангуляциями. Решение было отрицательным, т. е. проблема гомеоморфии неразрешима¹. При этом А. А. Марков ограничился полиэдрами специального вида: а именно, n -мерными многообразиями, где $n \geq 4$. В качестве базового было взято четырехмерное многообразие с заданной фундаментальной группой, строящееся аналогично построению из книги Г. Зейферта и В. Трельфалль². Далее использовался результат С. П. Адяна (1955)³ об алгебраической неразрешимости проблем распознавания некоторых свойств групп.

Отметим, что для трехмерных многообразий проблема разрешимости не решена даже с учетом доказательства гипотезы Торстена (Thorsten Ekedahl: 1955) о классификации трехмерных многообразий, данного Г. Я. Перельманом в 2003 г. (для $n=2$ проблема гомеоморфии для многообразий разрешима.)



Г. Я. Перельман

¹ Марков А. А. *Неразрешимость проблемы гомеоморфии* // ДАН СССР. – Т. 121. – № 2 (1958). – С. 218–220.

² Зейферт Г., Трельфалль В. *Топология*. – М.; Л., 1938.

³ Адян С. И. *Алгоритмическая неразрешимость проблем распознавания некоторых свойств групп* // ДАН СССР. – Т. 103. – № 4 (1955). – С. 533.

Григорий Яковлевич Перельман (р. 1966) окончил в 1983 г. знаменитую физико-математическую школу № 239 (в Ленинграде), затем учился на математико-механическом факультете ЛГУ и в аспирантуре при Ленинградском отделении Математического института (сокращенно ЛОМИ) им. В. А. Стеклова АН СССР (с 1992 г. – ПОМИ), где и работал после защиты кандидатской диссертации. В конце 80-х гг. уехал на 6 лет в США, там он был на должностях профессора-исследователя в разных университетах, включая институт Куранта (R. Courant Institute) Нью-Йоркского университета и университет Беркли (University of California, Berkeley).

В 1995 г. Г. Я. Перельман вернулся в Санкт-Петербург в ПОМИ, но вместо лаборатории геометрии, где он работал до отъезда в США, он стал работать (до 2006 г.) в лаборатории математической физики – и это не случайно. Именно аппарат математической физики, точнее изучение потока Риччи-Гамильтона – нелинейного аналога уравнения теплопроводности, – позволило Г. Я. Перельману в 2002 г. доказать гипотезу Торстена о полной классификации компактных трехмерных многообразий, и – как частный случай, – гипотезу Пуанкаре: *всякое односвязное компактное трехмерное многообразие без края гомеоморфно трехмерной сфере.*

В 2006 г. Г. Я. Перельман был удостоен Филдсовской медали (и премии), а в 2009 г. – премии Клея¹, которые он не принял.

В связи с трехмерными многообразиями выделим особо **нерешенную**, так называемую, алгоритмическую проблему Пуанкаре. Известно, что каждая трехмерная поверхность задается некоторым дискретным кодом – конечным набором символов. При этом одна и та же поверхность имеет бесконечное число различ-

¹ Математический институт и премия были учреждены в 1998 г. бостонским бизнесменом Л. Т. Клеем (Clay Landon T.) и его женой Лавинией Д. Клей (Lavinia D. Clay).

ных кодировок. Алгоритмической проблемой Пуанкаре называют проблему существования алгоритма, определяющего по заданному кодовому слову, задает ли оно трехмерную сферу (подробнее см. [61]).

Приведем теперь биографии упомянутых выше А. А. Маркова (1903–1979), П. С. Новикова (1901–1975) и Г. С. Цейтина (р. 1936).

Как было уже сказано в начале § 9, *Андрей Андреевич Марков* (мл.) родился в семье выдающегося русского математика А. А. Маркова (1856–1922). А. А. Марков (мл.) до 1953 г. жил и работал в Санкт-Петербурге – Петрограде – Ленинграде, за исключением двух лет (1942–1944), когда его эвакуировали из блокадного города. В 1919–1924 гг. он учился в Петроградском университете (окончил в 1924 г.), затем в аспирантуре Астрономического института. В 1935 г. ему без защиты присвоена степень доктора физико-математических наук, за работы по теории динамических систем и работу о конечномерных векторных пространствах¹, а в 1936 г. он становится профессором и заведующим кафедрой геометрии² Ленинградского государственного университета. Идеи конструктивизма овладели А. А. Марковым еще в предвоенные годы – он организовал в Ленинграде семинар, где разбирались работы А. Черча, С. К. Клини, А. М. Тьюринга и Э. Поста. Поэтому выход в 1954 г. его знаменитой книги «Теория алгорифмов» [46] был подведением итогов размышлений о необходимости «коструктивизирования математики».

¹ Марков А. А. *О векторных пространствах конечной размерности* // Труды II Всесоюзного математического съезда. – М.; Л.: Изд-во АН СССР. – Т. 2 (1934). – С. 138–175.

² А. А. Марков заведовал кафедрой геометрии с 1936 по 1942 г. и с 1944 по 1953 г.

В 1953 г. А. А. Марков начинает строить «конструктивный» математический анализ (не путать с конструктивной теорией функций, см., например, классическую монографию И. П. Натансона 1949 г.)¹. Конструктивная функция действительного переменного, по Маркову, оказалось, не может иметь точек разрыва². Более того, как показал в 1962 г. Г. С. Цейтин, такая функция в любой точке непрерывна, т. е. для нее может быть указан алгоритм, перерабатывающий всякий $\varepsilon > 0$ в соответствующий $\delta > 0$ (по Коши) [63].

С 1953 по 1959 г. основным местом работы А. А. Маркова становится Математический институт им. В. А. Стеклова, а с 1959 до 1979 г. – кафедра математической логики в МГУ им. М. В. Ломоносова, где он начал осуществление проекта изложения конструктивной математической логики в общем контексте конструктивной математики (см., например, [62]).

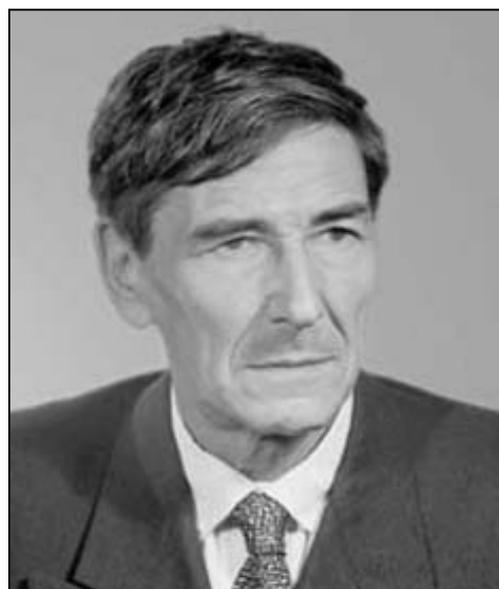
Говоря о А. А. Маркове, следует также упомянуть о его роли в развитии отечественной криптографии.

В 1953 г. членом-корреспондентом АН СССР одновременно с А. А. Марковым стал *Петр Сергеевич Новиков*, коренной москвич. Московский университет П. С. Новиков оканчивает в 1925 г., затем учится в аспирантуре (научный руководитель – Н. Н. Лузин (1883–1950)). С 1929 г. П. С. Новиков преподает в Химико-технологическом институте им. Д. И. Менделеева. Наконец, с 1934 г. и до конца жизни (1975) П. С. Новиков работает в Математическом институте АН СССР, совмещая с преподаванием в МГПИ им. Ленина.

¹ Натансон И. П. *Конструктивная теория функций*. – М.; Л.: ГИТТЛ, 1949. – 688 с.

² Марков А. А. *Непрерывность конструктивных функций* // Сб. материалов научной сессии ЛГУ 1952/1953. Секция математических наук. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1952. – С. 22–23.

Разработанный П. С. Новиковым «принцип сравнения индексов»¹ позволил дать решение одной из проблем дескриптивной теории множеств, что в дальнейшем привело к ее использованию в теории селекторов и, как следствие, в различных компьютерных технологиях (представление Новикова – Кастэна)². В 1952 г. П. С. Новиков получает доказательство алгоритмической неразрешимости проблемы тождества [64], а тремя годами позже (1955)³ – алгоритмической неразрешимости проблемы тождества слов в конечно-определенных группах, поставленных еще в 1912 г. М. Дэном (1878–1952). Дальнейшие результаты в этом направлении были получены П. С. Новиковым совместно с его учеником (по МГПИ), будущим академиком РАН, Сергеем Ивановичем Адяном (р. 1931) в 1958–1968 гг. [65], включая и решение (1968) знаменитой проблемы Бернсайда⁴.



П. С. Новиков

¹ Novikoff P. *Fonctions implicites mesurables* // Fund. Math. – Bd 17 (1931). – P. 8–25; Novikoff P. *Sur la separabilite des ensembles projectifs du seconde classe* // Fund. Math. – Bd 25 (1935). – P. 459–466.

² Одинец В. П., Шлензак В. А. *Основы выпуклого анализа* / пер. с польск. В. П. Одица при участии М. Я. Якубсона; под ред. В. Н. Исакова. – М.–Ижевск: РХД, 2011. – 520 с.

³ Новиков П. С. *Об алгоритмической неразрешимости проблемы тождества слов в теории групп* // Труды МИАН СССР. Изд-во АН СССР. – 1955. – Т. 44. – С. 3–143.

⁴ В 1902 г. Уильям Бернсайд (William Burnside: 1852–1927) в работе, опубликованной в журнале «Quart. J. Pure and Appl. Math» (1902. – V. 33. – P. 230–238), поставил вопрос о периодических группах: всегда ли конечна конечно порожденная группа, каждый элемент которой имеет конечный порядок. При этом Бернсайд выделил случай, когда порядки всех элементов группы ограничены в совокупности (т. е. в группе выполняется тождественное соотношение $x^n = 1$ при некотором натуральном n). В работе [65] было дано отрицательное решение проблемы для всех нечетных периодов $n \geq 4381$.

Григорий Самуилович Цейтин (р. 1936) по окончании в 1956 г. математико-механического факультета ЛГУ стал работать в НИММ¹ при этом же факультете, занимаясь проблемами машинного перевода, теорией программирования и создания языка программирования АЛГОЛ (версия 1968 г.) и т. д. Его публикации: в 1956 г. в ДАН СССР, подробная в 1958 г. в Трудах МИАН СССР (т. 52, с. 172–189) «Ассоциативное исчисление с неразрешимой проблемой эквивалентности» – стали классическими работами в теории алгоритмов.

Г. С. Цейтин был одним из создателей и основных преподавателей Юношеской Математической Школы при математико-механическом факультете ЛГУ (начало ее работы – 1960 г.).

В 1975 г. Г. С. Цейтин защитил докторскую диссертацию. К началу 90-х гг. XX в. относится сотрудничество Г. С. Цейтина с фирмой IBM, результатом которого стал переезд в США и работа в этой фирме до 2009 г.

Отметим также, что Г. С. Цейтин является одним из виднейших эсперантистов планеты.

Упражнения

1. Докажите вычислимость по Тьюрингу следующих функций:

а) $f_1(n) = 3n + 2; n \in \mathbb{N};$

б) $f_2(n, m) = n^2 + 2nm; n \in \mathbb{N};$

в) $f_3(n) = 2^n; n \in \mathbb{N}_0;$

г) $f_4(n, m) = \min(n, m); n \in \mathbb{N}_0;$

д) $f_5(n) = \left\lceil \sqrt{n+1} \right\rceil + \left\lfloor \sqrt{2n-1} \right\rfloor; n \in \mathbb{N}.$

¹ В лаборатории, которой руководил Г. С. Цейтин, работал и Николай Кириллович Косовский (р. 1945), который установил алгоритмическую неразрешимость универсальной теории кольца двоично рациональных чисел.

2. Показать, что если две функции вычислимы по Маркову, то их композиция вычислима по Маркову.

3. Дан алфавит $\{a, b\}$.

а) Пусть A – подмножество слов, начинающихся с буквы «а». Дайте прямую нумерацию для A и докажите ее алгоритмическую вычислимость.

б) Пусть B – множество слов, которые читаются одинаково слева направо и справа налево (множество «палиндромов»). Дайте прямую нумерацию для B и докажите ее алгоритмическую вычислимость.

в) Пусть C – множество слов, содержащих не более одной буквы «а». Дайте прямую нумерацию для C и докажите ее алгоритмическую вычислимость.

§ 11. X-я проблема Гильберта

Среди проблем алгоритмической разрешимости особое место занимает X-я проблема Гильберта, сформулированная в докладе на II Международном конгрессе математиков в 1900 г. Суть проблемы – существует ли алгоритм, определяющий за конечное число шагов наличие у данного многочлена нескольких переменных с целыми коэффициентами ЦЕЛЫХ корней.

Первые подвижки в решении этой проблемы появились в начале 50-х гг. XX в. и связаны с именем Мартина Дэвиса (Martin Davis: 1928). Еще в конце 40-х гг. М. Дэвис выдвинул гипотезу: *каждое перечислимое множество является диофантовым.*

Под диофантовым множеством понимается некоторое подмножество $A \subset \mathbb{N}^k$ (где $k \in \mathbb{N}$), для которого существует многочлен $P(x_1, \dots, x_k, y_1, \dots, y_n)$ с целыми коэффициентами y_1, \dots, y_n , где $1 \leq n \leq k^k + 1$, такой, что

$$A = \left\{ (x_1, \dots, x_k) : \exists_{y_1, \dots, y} \in \mathbb{Z} P(x_1, \dots, x_k, y_1, \dots, y) = 0 \right\}$$

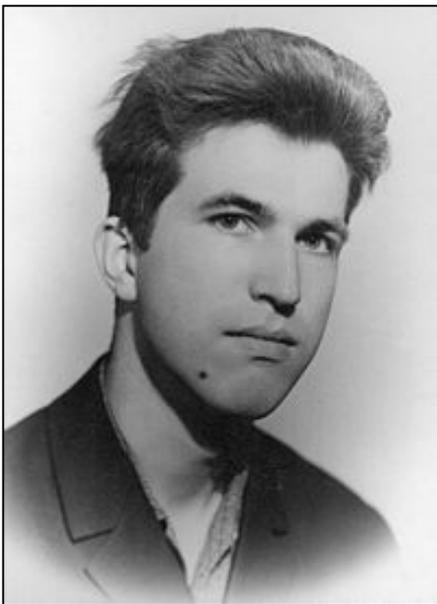
При этом М. Дэвис показал, что любое перечислимое множество M натуральных чисел можно представить в форме:

$$a \in M \Leftrightarrow \exists z : \forall y \leq z \exists x_1, \dots, x_k \left[D(a, x_1, \dots, x_k) = 0 \right]$$

(Это представление принято называть нормальной формой по Дэвису [68]).

В 1959 г. М. Дэвис и Х. Путнам (Hilary Putnam: 1926) доказали ослабленную гипотезу Дэвиса (для экспоненциальных диофантовых уравнений), опираясь на недоказанное до сих пор предположение, что существует сколь угодно длинная арифметическая прогрессия, содержащая только простые числа¹.

Ослабленную гипотезу Дэвиса без этого предположения удалось доказать в 1960 г. Джулии Робинсон (Julia Robinson (Bowman): 1919–1985). Подробно этот результат опубликован в 1961 г. в совместной статье Д. Робинсон, М. Дэвиса и Х. Путнам [69].



Ю. В. Матиясеви́ч

Другие ослабления гипотезы Дэвиса были предложены Сергеем Юрьевичем Масловым (1939–1982) в 1967 г. [66] и Анатолием Ивановичем Мальцевым (1909–1967) (в 1966 г., публикация² в 1968 г.).

Наконец, в 1970 г. Юрий Владимирович Матиясеви́ч (р. 1947) поставил

¹ Davis M., Putnam H. *Reductions of Hilbert's tenth problem* // The Journal of Symbolic Logic. – V. 23. – № 2 (1958). – P. 183–187.

² Мальцев А. И. *О некоторых пограничных вопросах алгебры и математической логики* // Труды Международного конгресса математиков (Москва, 1966). – М.: Мир, 1968. – С. 217–231.

точку, доказав гипотезу М. Дэвиса [70]. Одновременно им дан отрицательный ответ на вопрос в X-й проблеме Гильберта. Отметим, что научным руководителем Ю. В. Матиясеви́ча был С. Ю. Маслов.

В связи с X-й проблемой Гильберта уместно заметить, что если, вместо требования целых корней полинома, потребовать действительных корней, то, как показал в 1942 г. (публикация 1948 г. [67]) великий польский логик А. Тарский (Alfred Tarski (Tajtelbaum): 1902–1983), за конечное число шагов алгоритмическое решение проблемы наличия таких корней всегда существует.

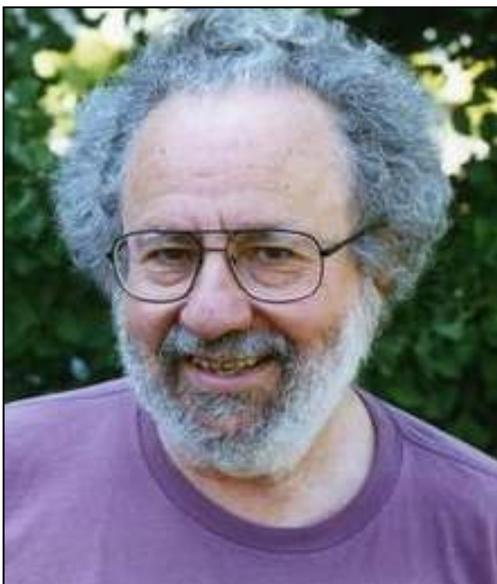
Что касается алгоритмического решения проблемы в случае требования рациональных корней полинома, то до настоящего времени ответ *неизвестен* (см. также [71]).

Завершим этот параграф краткими биографическими данными главных действующих лиц: М. Дэвиса, Х. Путнам, Джулии Робинсон, А. И. Мальцева, С. Ю. Маслова, Ю. В. Матиясеви́ча, А. Тарского.

Мартин Дэвис родился в 1928 г. в Нью-Йорке в семье польских евреев, эмигрировавших из Лодзи в США. Учился в Городском колледже в Нью-Йорке. Там одним из его преподавателей оказался Эмиль Пост, что имело для М. Дэвиса решающее значение. Получив в 1948 г. степень бакалавра, М. Дэвис поступает в Принстонский университет, где его научным руководителем становится А. Черч¹.

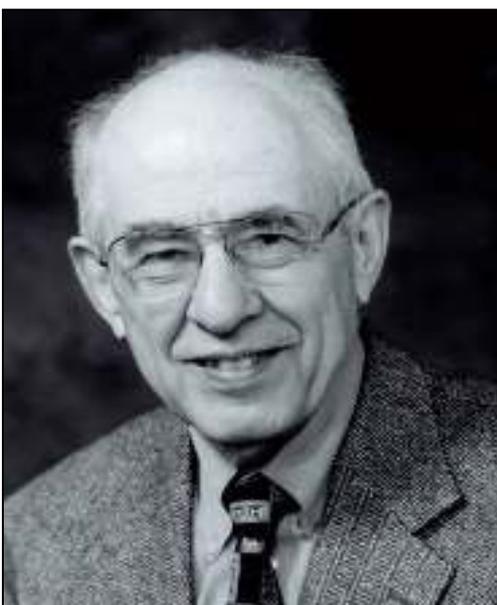
В 1949 г. М. Дэвис получает степень магистра, а год спустя степень Ph. D. Его первым местом работы был университет в Иллинойсе (1950–1952 гг.), затем Принстонский институт Перспективных исследований, где он работал по теме, поддерживаемой

¹ Jacson A. *Interview with Martin Davis* // Notices of the AMS. – V. 55. – № 5 (2007). – P. 560–571.



Мартин Дэвис

Военно-морским флотом США, а позже в разных исследовательских центрах, в том числе и по заказу Агентства Национальной безопасности США. Совместная работа с Хилари Путнам началась в 1956 г. В 1958 г., когда появилась их известная совместная публикация, она спонсировалась Военно-Воздушными силами США.



Хилари Путнам

В 1926 г. в Чикаго родился *Хилари Путнам* (Hilary Putnam: 1926), один из творцов современной аналитической философии, включающей и философию математики. Время Великой депрессии семья Путнам провела во Франции, возвратясь в США в 1934 г. (в Филадельфию), где Хилари учился в Центральной средней школе. Здесь он познакомился с Ноамом Хомским (Noam Chomsky: 1928), учившимся в младшем на год

классе. В университете в Пенсильвании Путнам получает степень бакалавра (по математике и философии); далее он учится в Гарварде и Калифорнийском университете (Лос-Анджелес), где и получает в 1951 г. ученую степень Ph. D. за диссертацию под названием «Значение понятия вероятность в приложениях к конечным последовательностям».

Позже он преподает в Северозападном университете (Эванстон, штат Иллинойс), в Принстоне и в Мичиганском технологическом институте (МИТ). В 1976 г. Х. Путнам был выбран Президентом Американского Философского общества. Следует также отметить бескомпромиссную борьбу Х. Путнам с проявлениями антисемитизма, а также борьбу за социальную справедливость¹.

В 1964–1973 гг. Х. Путнам был активнейшим борцом против участия США во вьетнамской войне [72].

Джулия Баумэн Робинсон родилась в 1919 г. в красивейшем городе штата Миссури – Сент-Луисе. Ее мать умерла, когда Джулии было два года. Некоторое время ее воспитывает бабушка, жившая в Фениксе (штат Аризона). После вторичной женитьбы отца семья переезжает в Сан-Диего (штат Калифорния). В 1936 г. она оканчивает среднюю школу с медалью (Vausch-Lomb medal) и поступает в Колледж Сан-Диего. Благодаря финансовой поддержке своей тети² Джулия переводится в университет Беркли (University of California at Berkeley).

Среди преподавателей этого университета она выделяет ассистента Рафаэля М. Робинсона, который помог ей в изучении теории чисел, и в 1941 г. выходит за него замуж. По окончании учебы в университете она поступает в аспирантуру, и под научным руководством великого польского логика Альфреда Тарского защищает в 1948 г. диссертацию на степень Ph. D. под названием «Определяемость и разрешимость проблем в арифметике». С этого времени Д. Робинсон начинает вплотную заниматься X-й проблемой Гильберта. В 1950 г. ей была предоставлена возможность сообщить о своих результатах на XI Международном Кон-

¹ Возможно, в этом сыграло свою роль то, что его отец – Самуэль Путнам – был коммунистом, а мать Рива – еврейкой.

² Отец Джулии разорился в результате Великой Депрессии и покончил собой.

грессе математиков, проходившем в Кембридже (штат Массачусетс, США). В 1959 г. М. Дэвис и Х. Путнам шлют Д. Робинсон свою работу по X-й проблеме Гильберта, а в 1961 г. выходит их (троих) совместная работа, послужившая в 1970 г. фундаментом для окончательного решения Ю. В. Матиясевичем этой проблемы. Кроме X-й проблемы Гильберта, Д. Робинсон для фирмы RAND Corporation занималась задачей игры с нулевой суммой, а для Военно-морского флота США – задачами гидродинамики. В 1982 г. Д. Робинсон была избрана (на 4 года) Президентом Американского Математического общества. (В истории этого общества женщина впервые была избрана на такой пост.) В 1985 г. Д. Робинсон избирают в Американскую Академию Искусства и Науки [37].

Как уже было сказано выше, в 1966 г. *Анатолий Иванович Мальцев* выдвинул свою ослабленную гипотезу Дэвиса. А. И. Мальцев родился в 1909 г. в семье стеклодувов Мишеронского стекольного завода Владимирской губернии¹ Костериных². Окончив среднюю школу в 1927 г., А. И. Мальцев поступает в МГУ на механико-математический факультет. По окончании МГУ в 1931 г. преподает в Энергетическом институте г. Иваново, а затем там же в Педагогическом институте. В 1934 г. поступает в аспирантуру МГУ, где его руководителем становится А. Н. Колмогоров.

После защиты кандидатской диссертации в 1937 г. Мальцев возвращается в Педагогический институт. В 1939 г. его направляют на учебу в докторантуру в МИАН им. В. А. Стеклова. В 1941 г. он успешно защищает докторскую диссертацию и ста-

¹ Ныне это Московская губерния.

² После 1917 г. завод получил название «Пионер».

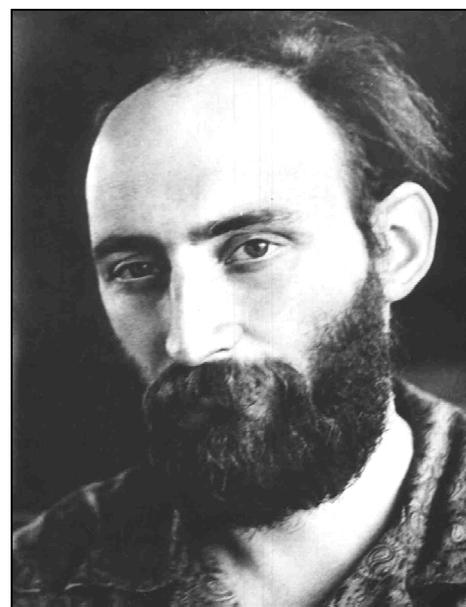
новится сотрудником МИАНа, одновременно (до 1960 г.) преподает в Педагогическом институте г. Иваново.

В своих работах он постепенно уходит от чисто алгебраической тематики к теории рекурсивных функций и математической логике. В итоге он становится основным творцом теории классов моделей и алгебраических систем¹ [74].

В 1958 г. А. И. Мальцев был избран действительным членом АН СССР, а в 1959 г. он переезжает в Новосибирск, где заведует отделом алгебры Института математики СО АН СССР (подробнее см. [76]).

В 1939 г. в Ленинграде в семье филологов родился *Сергей Юрьевич Маслов*. В 1956 г. он поступил на механико-математический факультет ЛГУ. В 1961 г. принят в аспирантуру по специальности «Математическая логика». В 1970 г. С. Ю. Маслов защищает докторскую диссертацию, которую, правда, утверждают лишь через 2,5 года, в 1973 г. Впрочем, докторскую диссертацию ученика С. Ю. Маслова, будущего академика Ю. В. Матиясевича, тоже утверждают больше года.

С середины 70-х гг. С. Ю. Маслов начинает преподавать в Ленинградском финансово-экономическом институте им. Н. А. Вознесенского (ЛФЭИ), вначале на кафедре экономической кибернетики, а позже – высшей математики. В ЛФЭИ С. Ю. Маслов



С. Ю. Маслов

¹ Например, двухосновные алгебраические системы Мальцева – это графы (подробнее см. [75]).

продолжил исследования по ИИ и теории дедуктивных систем. Особо следует сказать о семинаре «Общая теория систем», которым он руководил с 1967 по 1982 г. Этот семинар, начинавшийся на математико-механическом факультете ЛГУ, а затем переместившийся в квартиру С. Ю. Маслова, стал одним из первых интердисциплинарных семинаров в Ленинграде. На нем обсуждались не только проблемы науки, но и искусства и литературы (включая «самиздат»), не всегда одобряемые тогдашними властями. Эти семинары как глоток «чистого воздуха» в период застоя продолжались вплоть до трагической гибели С. Ю. Маслова¹ [77; 78].

Ученик С. Ю. Маслова **Юрий Владимирович Матиясеви́ч** родился в 1947 г. в Ленинграде. Учился в физико-математической школе № 239, а 10-й класс (1963/64 учебный год) – в знаменитой Колмогоровской школе-интернате при МГУ. Ю. В. Матиясеви́ч был победителем II и III Всероссийской (1962, 1963) и VI Международной олимпиады (1964) [79]. В 1964–1969 гг. он учится на математико-механическом факультете ЛГУ. При этом со второго курса его научным руководителем становится Сергей Юрьевич Маслов. Уже на втором курсе Ю. В. Матиясеви́ч получает результаты по логике, опубликованные в Докладах Академии Наук СССР и доложенные на XV Международном Математическом Конгрессе в Москве (1966).

Один год (1969–1970) он учится в аспирантуре ЛОМИ, а в 1970 г. защищает кандидатскую диссертацию. В том же году Ю. В. Матиясеви́ч завершает решение X-й проблемы Гильберта². С 1970 г. он работает в ЛОМИ. В 1972 г. им была защищена докторская диссертация, посвященная проблеме разрешимости.

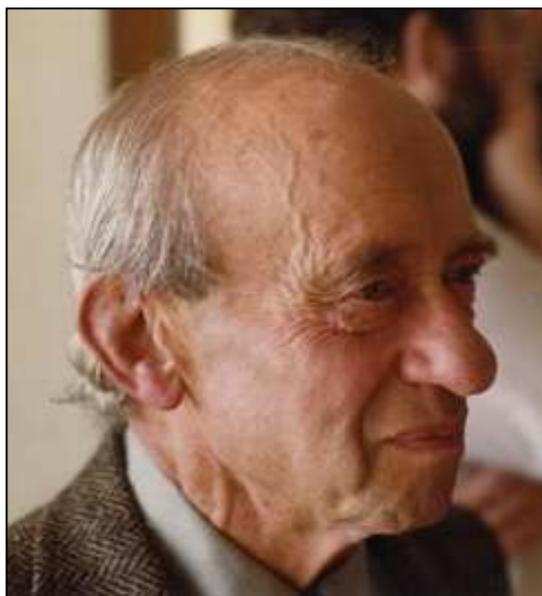
¹ С. Ю. Маслов трагически погиб в автокатастрофе в 1982 г.

² Матиясеви́ч Ю. В. *Дифантовость перечислимых множеств* // Доклады АН СССР. – Т. 191. – № 2. (1970). – С. 279–282.

В последние годы Ю. В. Матиясевич занимается, кроме задач логики, и задачами дискретной математики, в частности гипотезой четырех красок. В 2008 г. его избирают действительным членом РАН, а в январе 2009 г. – Президентом Санкт-Петербургского математического общества.

Альфред Тарски (Alfred Tarski (Tajtelbaum): 1902–1983) родился в 1901 г. в Варшаве в семье Тайтельбаумов (Tajtelbaum). (Альфред поменял фамилию в 1923 г.) Формально до 1917 г. Польша была частью Российской Империи. Поэтому не случайно научным руководителем Альфреда станет родившийся в Серпухове и окончивший гимназию в Иркутске, а университет в Мюнхене Станислав Лещневский (Stanisław Leśniewski: 1886–1939).

Альфред Тарски с 1918 по 1924 г. учится в Варшавском университете, завершив учебу защитой докторской диссертации¹. С. Лещневский был одним из создателей польской школы логиков и философов. Альфред Тарски в период с 1924 по 1931 г. получает глубокие результаты в теории множеств и в той части логики, которую позже назовут семантикой. Итогом этих исследований была работа в журнале *Fundamenta Mathematicae* [80], которая принесла А. Тарскому широкую известность.



Альфред Тарски

¹ Напомним, что в Польше докторская диссертация соответствует кандидатской диссертации в России, а следующая диссертация называется хабилитацией.

В 1933 г. на польском, а в 1936 г. – на немецком языках выходит его знаменитая работа «Понятие истинности в формализуемых языках» [81]. В 1937 г. в Вене (Vienna) в издательстве «Julius Springer» выходит книга «Einführung in die mathematische Logik und in die Methodologie der Mathematik», сразу поставившая А. Тарского в число ведущих логиков мира. Но в самой Польше отношение к Тарскому было иным. Все попытки (их было 5) получить должность профессора оказались безуспешными. Причиной был антисемитизм польских властей на государственном уровне, воцарившийся в Польше с 1936 г. после смерти Юзефа Пилсудского (Józef Piłsudski: 1867–1935). В августе 1939 г. А. Тарски покинул Польшу и эмигрировал в США. Во время II Мировой войны А. Тарски работал в Гарвардском университете, в Городском Колледже Нью-Йорка¹, в Институте Перспективных исследований в Принстоне и, наконец, в Университете Беркли (с 1945 до 1983 г.), где им была создана научная школа по логике и основаниям математики и науки в целом.

Среди учеников Альфреда Тарского можно выделить не только Джулию Робинсон, но и Анджея Мостовского (Andrzej Mostowski: 1913–1975), Чень-Чунг Чанга (Chen-Chung Chang: 1930) и Джерома Кейслера (Jerome Howard Keisler: 1936) – создателей теории моделей. Д. Кейслер является одним из авторов нестандартного анализа и др. Только диссертаций на степень Ph. D. под руководством А. Тарского было защищено 24 [82].

¹ В 1961 г. этот Колледж стал частью университета города Нью-Йорка.

§ 12. Элементы теории сложности. NP-проблема

О сложности алгоритмов и оценке ее численно обычно говорят вне контекста какой-либо вычислимой модели, хотя это и не всегда удобно.

Напомним, что на практике сопоставляют алгоритмы, решающие одну и ту же (массовую) проблему, по двум критериям:

а) время работы (число шагов алгоритма при различных входных данных);

б) объем требуемой оперативной памяти (наибольшая длина строки промежуточных данных).

Разумеется, встречается и комбинированная оценка сложности алгоритма, например длина протокола машины Тьюринга, моделирующей какой-либо алгоритм, и т. д.

Иными словами, нас интересует при сравнении двух алгоритмов их поведение при росте объема входных данных.

Напомним, что если $f(n)$ и $g(n)$ – две натуральные функции одной переменной n , то говорят, что g мажорирует f и пишут $f(n) = O(g(n))$ или кратко $f = O(g)$, если существуют $a > 0$ и $b > 0$, такие, что $\exists n_0 \in \mathbb{N}_0: \forall_{n \geq n_0} f(n) \leq b + ag(n)$.

Если $f(n) = O(g(n))$ и $g(n) = O(f(n))$, то пишут $f(n) = \theta(g(n))$ и говорят, что g – *наилучшая оценка* для f . Очевидно, что отношение θ (наилучшей оценки) будет отношением эквивалентности.

Аналогично определяются понятия мажорируемости для случая функций нескольких переменных. Разумеется, замена мажорируемой функции $f(n)$ на мажорирующую функцию $g(n)$ должна упрощать вычисления.

На практике для оценки сложности алгоритма рассматривают натуральную функцию, в качестве значений которой выступает

число элементарных действий (шагов алгоритма), а роль переменной играет длина строки, кодирующей начальные данные при выполнении данного алгоритма.

Аналогично можно говорить и о функциях с переменными – длинами выходных данных и длинами промежуточных данных.

Напомним также, что количество знаков в двоичном представлении натурального числа n равно $\lfloor \log_2(n) \rfloor + 1$ ¹. При этом длина l двоичного представления натурального числа n мажорируется функцией $\lfloor \ln n \rfloor$, и это наилучшая оценка.

Наилучшим образом можно оценить и длину l суммы, произведения и степени натуральных чисел:

$$l(n_1 + n_2) = O\left(\left\lfloor \ln\left(\max\{n_1, n_2\}\right) \right\rfloor\right) = O\left(\max\left(l(n_1), l(n_2)\right)\right);$$

$$l(n_1 \cdot n_2) = O\left(\left\lfloor \ln(n_1) + \ln(n_2) \right\rfloor\right) = O\left(l(n_1) + l(n_2)\right);$$

$$l(n_1^{n_2}) = O\left(\left\lfloor n_2 \cdot \ln(n_1) \right\rfloor\right) = O\left(n_2 \cdot \ln(n_1)\right).$$

Оценкой сложности алгоритма называют верхнюю оценку числа шагов алгоритма при известной длине данных, т. е. функцию $f(n)$, значение которой в точке, соответствующей данной длине входных данных, не меньше числа шагов алгоритма при любых входных данных рассматриваемой длины.

Например, если алгоритмы A_1 , A_2 и A_3 имеют сложности порядка $f_1(n)$, $f_2(n)$ и $f_3(n)$ соответственно, то в качестве оценки

сложности разветвления $A_1 \begin{matrix} \swarrow A_2 \\ \searrow A_3 \end{matrix}$ служит выражение:

¹ Напомним, что нижняя целая часть числа $\lfloor x \rfloor = \max\{k \in \mathbb{Z} : k \leq x\}$ в отечественной литературе именуется целой частью числа $x \in \mathbb{R} = (-\infty, +\infty)$.

$$\max\left(f_2(f_1(n)); f_3(f_1(n)) + f_1(n)\right).$$

По оценке сложности алгоритмы разделяют на 4 крупных класса:

1⁰. Алгоритмы сложности, не превосходящей линейную (эти алгоритмы имеют сложность порядка, не большего $O(n)$).

2⁰. Алгоритмы полиномиальной сложности (чаще всего их сложность оценивается как $O(n^\alpha)$, $\alpha > 1$).

3⁰. Алгоритмы экспоненциальной сложности (сложность этих алгоритмов мажорируется $2^{O(n)}$, но не мажорируется никакой степенью n^α).

4⁰. Алгоритмы сложности большей, чем экспоненциальная (на практике эти алгоритмы обычно не применяются).

В зависимости от сложности алгоритмов для решения тех или иных массовых проблем, эти проблемы подразделяют на 4 класса сложности: 1⁰⁰, 2⁰⁰, 3⁰⁰ и 4⁰⁰. При этом справедливо: $1^{00} \subset 2^{00} \subset 3^{00} \subset 4^{00}$.

1⁰⁰. Проблемы сложности не больше линейной.

(Это, например, нахождение остова конечного графа или проверка планарности графа.)

2⁰⁰. Проблемы полиномиальной сложности, т. е. те проблемы, для которых существует решающий алгоритм полиномиальной сложности. Обозначение класса: P . (Это, например, проблема простоты заданного натурального числа.)

3⁰⁰. Проблемы, сложность которых не больше, чем экспоненциальные. Обозначение класса: NP .

Для этих проблем существует решающий алгоритм, сложность которого мажорируется экспонентой, но не известен решающий алгоритм полиномиальной сложности и не доказано, что такого алгоритма нет.



Л. Левин

(В качестве примера можно привести нахождение гамильтонова цикла в данном графе.)

Есть еще одно определение класса \mathbb{NP} : массовая проблема относится к классу \mathbb{NP} , если она полиномиально сводится к вычислению некоторой функции f с логическими значениями, которая представима в виде:

$$f(x) = \exists_y \left((|y| < q(|x|)) \cap R(x, y) \right),$$

где $q(|x|)$ – полином от длины $|x|$ слова x , $R(x, y)$ – функция, вычисляемая за полиномиальное время.

4^{00} . Проблемы, сложность которых не меньше, чем экспоненциальная.

(Например, это проблемы генерации объектов, число которых возрастает экспоненциально (подробнее см. [45, гл. IV])).

Поскольку класс \mathbb{NP} определяется достаточно сложно, то еще в начале 70-х гг. XX в. возникло подозрение, не

будет ли $P = \mathbb{NP}$. Однако это пока не доказано.

Впервые вопрос о равенстве классов был поставлен Стивеном Куком¹ (Stephen Cook: 1939) в 1971 г. и независимо Леони-

¹ Стивен Кук родился в Баффало (Buffalo, New York), получил степень бакалавра в 1961 г. в Мичиганском университете, степень магистра в 1962 г. и Ph. D. в 1966 г. в Гарварде. Далее он работал в Университете Беркли (до 1970 г.), а затем уехал в Торонто, где стал профессором университета по специальностям «Математика» и «Computer Science».

дом Левиным¹ (р. 1948) в 1973 г. Не случайно проблему равенства классов P и NP называют одной из шести оставшихся «великих» проблем тысячелетия, после доказательства гипотезы Пуанкаре Г. Я. Перельманом (подробнее см. [83–84]).

Упражнения

1. Постарайтесь дать наиболее точную оценку возрастания следующих функций натурального аргумента:

а) $f_1(n) = n^2 + \ln(n^3 + 2)$;

б) $f_2(n) = 2^{\ln(3^n+1)} + 2^{n \ln(\ln(n))}$;

в) $f_3(n) = C_n^4$;

г) $f_4(n) = (n^2 + 5)!$.

2. Пусть $f_5(n)$ – количество различных многочленов степени не больше n с натуральными коэффициентами, не большими, чем 2^n . Найдите наиболее точную оценку возрастания этой функции.

3. Пусть $f_6(n)$ – количество неориентированных и не изоморфных графов Бержа с петлями и числом вершин, равным n . Найдите наиболее точную оценку возрастания этой функции.

4. Оцените число битовых операций, необходимых для перевода числа из десятичной системы в шестнадцатеричную.

¹ Леонид Анатольевич Левин родился в Днепропетровске в 1948 г.; окончил механико-математический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова в 1970 г.; там же в 1977 г. защитил кандидатскую диссертацию. Его научным руководителем был А. Н. Колмогоров. Л. А. Левин эмигрировал в США в 1978 г., а в 1979 г. получил Ph. D. в области прикладной математики в Массачусетском Институте Технологии. (В MIT его научным руководителем был профессор Альберт Р. Мейер (Albert R. Meyer: 1941)). В настоящее время Л. Левин – профессор Бостонского университета.

5. Оцените число битовых операций, необходимых для вычисления n -го числа последовательности Фибоначчи.

6. Пусть

$$f_7(n) = a_n, f_8(m) = b_m, f_9(n, m) = a_{n-1} + b_{m-1}$$

$$m, n \in \mathbb{N} \setminus \{1\}, a_2 = 1, b_2 = 1.$$

Оцените число битовых операций для вычисления:

а) $f_9(n, n)$; б) $f_9(n, 2n)$.

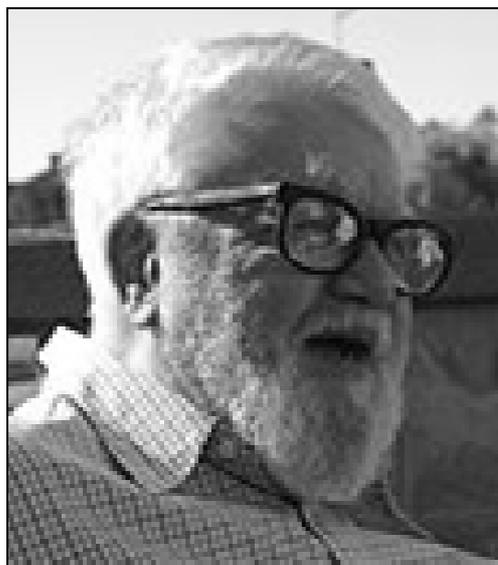
Глава III. История систем искусственного интеллекта

Введение

Считается, что термин «искусственный интеллект» (Artificial Intelligence) предложил Джон Маккарти (John McCarthy: 1927) в 1955–1956 гг., вместе с Мэрвином Мински (Marvin Minsky: 1927), Натаниелом Рочестером (Nathaniel Rochester: 1919–2001) и Клодом Шенноном (Claude Elwood Shannon: 1916–2001).

Маккарти уже имел к этому времени степень Ph. D., защищенную в 1951 г. в Принстоне под руководством знаменитейшего тополога Соломона Лефшеца (Solomon Lefschetz: 1884–1972)¹. Заметим, что мать Д. Маккарти хорошо говорила по-русски, т. к. была еврейкой, эмигрировавшей из Российской Империи (Виленской губернии) [86].

Уже к середине 50-х гг. Д. Маккарти интересуется программированием, математической логи-



Джон Маккарти

¹ С. Лефшец был одним из творцов алгебраической топологии. Он родился в Москве. Получив среднее образование во Франции, в 1905 г. в возрасте 21 года эмигрировал в США. Он хотел стать инженером, но в 1907 г. потерял обе кисти рук в результате электроожога. Считая, что только математик может работать без кистей, он становится математиком, а уже в 1911 г. у него – Ph. D. по алгебраической геометрии. С 1944 г. С. Лефшец стал заниматься дифференциальными уравнениями, а позже динамическими системами.

кой (рекурсивными функциями и нечеткой логикой¹), а также эпистемологическими² проблемами искусственного интеллекта [87].

Первоначально (по Д. Маккарти) под искусственным интеллектом (ИИ) понималась наука и технологии создания интеллектуальных машин и, в частности, интеллектуальных компьютерных программ.

Затем понятие ИИ стало шире: им стали называть научное направление, в рамках которого ставятся и решаются задачи аппаратного или программного моделирования тех видов человеческой деятельности, которые традиционно считаются интеллектуальными.

В этом смысле системы ИИ включают в себя экспертные системы и робототехнику. С другой стороны, ИИ сам стал частью и философии, и новой науки когнитологии³. В рамках ИИ удалось за прошедшие 50 лет смоделировать основные чувства человека: зрение, слух (и речь), обоняние, тактильные чувства.

Работы в области создания систем искусственного интеллекта (СИИ) обычно делят на два направления:

1. Нейрокибернетика – аппаратное моделирование структуры и функций человеческого мозга.

2. Кибернетика «черного» ящика – т. е. безотносительно к структуре «ящика» он должен реагировать на внешние воздействия (раздражители), такие как мозг человека.

Поскольку принятие решений человеком пока еще не достаточно изучено, то основной изучаемой моделью является модель

¹ Тогда употребителен был термин: многозначная логика.

² Эпистемология – учение о познаниях. В узком смысле эпистемология изучает происхождение, структуру, границы и значение познания. Этот термин введен в 1854 г. шотландцем Дж. Ферье (Ferrier John: 1782–1854).

³ Когнитология (от лат. {cognitio = познание} + от греч. {logos = учение}) – 1) наука о знаниях; 2) система методов и приемов (технологий) получения, обработки, хранения и использования человеческого знания.

«лабиринтного» поиска. В итоге на основе эвристического подхода появилось понятие экспертной системы (ЭС) или системы, основанной на знаниях.

Пока разработка и создание ЭС является основным направлением в изучении СИИ.

Другим направлением в СИИ является создание и анализ существующих игр (шахматных, карточных, командных и т. д.).

Наконец, немаловажным направлением, о котором подробнее будем говорить во второй части пособия, является разработка естественно-языковых интерфейсов, включая машинный перевод, управление голосом, создание систем безопасности, основанных на обонянии, зрении и других видах электромагнитного излучения человека (включая тепловую) и высших животных (например, дельфинов).

§ 13. Представление знаний в интеллектуальных системах

Напомним, что в математической логике предпочтительной формой записи является *префиксная форма записи*. Основная теорема префиксной формы записи звучит так:

Последовательность S символов является правильно построенной в форме польской префиксной записи, если и только если:

1) $\text{ранг}(S) = -1$;

2) $\text{ранг}(\text{подпоследовательности слева от } S) \geq 0$, при этом $\text{ранг}(\text{оператора}) = \text{вес}(\text{оператора}) - 1$,

$\text{ранг}(\text{пустой последовательности}) = 0$,

$\text{ранг}(n\text{-го символа}) = n - 1$,

$\text{ранг}(\text{переменной}) = \text{ранг}(\text{константы}) - 1$,

$\text{ранг}(S1 \text{ соединенный с } S2) = \text{ранг}(S1) + \text{ранг}(S2)$ [89, с. 43].

Пример:

а) выражение $(p \supset q) \supset p$, записанное в инфиксной форме, в префиксной форме будет иметь вид:

$$\supset \supset p q p .$$

б) выражение: $\log\left(y + \sqrt{y^2 - (b/\sin x)}\right)$ будет выглядеть:

$$\log + y \sqrt - \uparrow y^2 / b \sin x .$$

Кроме записи, для представления знаний в СИИ особую роль играет понятие формальной системы. Напомним, что формальная система – это совокупность чисто абстрактных объектов, не связанных с внешним миром, в которой представлены правила оперирования множеством символов в чисто синтаксической трактовке без учета смыслового содержания (т. е. семантики).

Говорят, что формальная система определена, если:

1⁰. Задан *конечный алфавит* (т. е. конечное множество символов).

2⁰. Определена *процедура построения формул* (или слов) формальной системы.

3⁰. Выделено некоторое множество формул, называемых *аксиомами*.

4⁰. Задано *конечное множество правил вывода*, которые позволяют из некоторого конечного множества формул получать другое множество формул.

Формальную систему иногда называют также аксиоматикой (или формальной теорией) или даже просто множеством формул.

Самой известной формальной системой является *логика высказываний* (или пропозициональная логика).

Напомним для нее п. 1⁰ – 4⁰. (Их назовем 1⁰⁰ – 4⁰⁰.)

1⁰⁰. *Алфавит:*

- пропозициональные буквы p, q, r, s, t, \dots ;

- два логических оператора: \neg , \supset («не» и «следует»);
- скобки (,).

2⁰⁰. *Построение формул* (или пропозициональных форм):

- любая пропозициональная буква суть формула;
- если m есть формула, то (m) – также формула;
- если m есть формула, то $\neg m$ – также формула;
- если m_1 и m_2 формулы, то $m_1 \supset m_2$ – тоже формула.

3⁰⁰. *Аксиомы*:

$$(A1) (m_1 \supset (m_2 \supset m_1));$$

$$(A2) (m_1 \supset (m_2 \supset m_3)) \supset ((m_1 \supset m_2) \supset (m_1 \supset m_3));$$

$$(A3) (\neg m_2 \supset \neg m_1) \supset (m_1 \supset m_2)$$

(здесь m_1, m_2, m_3 – формулы).

4⁰⁰. Одно правило вывода (правило модус ноненс, или правило отделения):

если m_1 и $(m_1 \supset m_2)$ суть теоремы, то m_2 есть следствие m_1 .

Запись:

$$(m_1) \text{ и } (m_1 \supset m_2) \rightarrow m_2$$

Кроме вышеуказанной логики высказываний напомним формальную систему Аристотеля¹, отражающую законы дедуктивного мышления. В этой системе три закона Аристотеля являются строго доказуемыми. Сформулируем их:

- закон тождества (т. е. $(p \supset p)$);
- закон исключенного третьего, или $(p \vee \neg p)$;
- закон противоречия, или $\neg (p \wedge \neg p)$.

Фактически закон противоречия означает, что никакая теорема не может одновременно быть и теоремой, и не-теоремой.

Возвращаясь к логике высказываний, нельзя не напомнить о теореме Поста (1921) [110]:

¹ Аристотель – величайший ученый Древней Греции (384, 322 гг. до н. э.), ученик Платона (427, 347 гг. до н. э.).

Формула F доказуема в исчислении высказываний, если и только если она является тождественно-истинной, т. е. истинной при всех интерпретациях исчисления высказываний.

Из этой теоремы следует для исчисления высказываний:

а) *непротиворечивость* (т. е. t и $\neg t$ не могут быть одновременно выводами);

б) *полнота*, т. е. теоремы точно соответствуют тождественно-истинным формулам;

в) *разрешимость* (т. е. существованием процедуры решения).

Для исчисления предикатов¹ первого порядка имеет место аналог теоремы Поста – Первая теорема Геделя (1930):

Все теоремы являются логически общезначимыми формулами, т. е. являются истинными во всех интерпретациях [33].

¹ Исчисление предикатов первого порядка определяется так:

1. Алфавит:

- константы a, b, c, d, \dots ;
- индивидуальные переменные;
- предикаты A, B, C, D, \dots ;
- логические операторы: \neg, \supset ;
- квантор всеобщности \forall («каково бы ни было»).

2. Построение формул:

- формулы исчисления предикатов образуются аналогично формулам исчисления высказываний;
- каждому предикату приписывается вес k ; выражение $A(x_1, \dots, x_k)$ является формулой тогда и только тогда, когда вес A равен k ;
- выражение $((\forall x_1) A(x_1, \dots, x_k))$ представляет собой формулу, в которой x_1 – связанная переменная, а x_i – свободная переменная ($i \geq 2$).

3. Аксиомы включают три аксиомы исчисления высказываний: (A1), (A2), (A3)

+ (A4): $((\forall t) B(t) \supset B(u))$ («спецификации») (т. е. переменная « t » не содержится свободно в переменной « u »)

(A5): $((\forall t) (m_1 \supset m_2) \supset (m_1 \supset (\forall t) m_2))$, где m_1 и m_2 суть формулы, а t не является свободной переменной в m_1 .

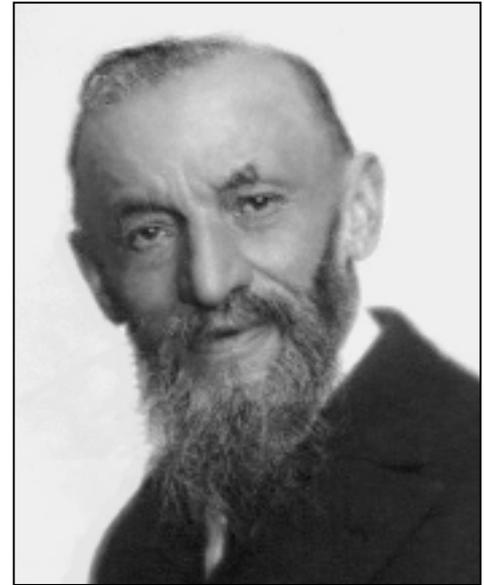
4. Правило словообразования:

(m_1) и $(m_1 \supset m_2) \rightarrow m_2$ (модус поненс)

$m_1 \rightarrow (\forall t) m_1$ (обобщение), где t – свободная переменная в m_1 .

К сожалению, первая теорема Геделя (в отличие от теоремы Поста) не приводит к эффективной процедуре решения.

Четвертой формальной системой (и одной из важнейших для Computer Science) оказалась формальная арифметика Джузеппе Пеано (Giuseppe Peano: 1858–1932), представленная им в 1889 г., когда он был представлен к должности профессора математики первого класса в Королевской Военной Академии [90].



Джузеппе Пеано

Напомним, что в формальной арифметике по сравнению со счислением предикатов дополнительно вводятся:

- одна константа 0 (нуль);
- 4 оператора:

а) оператор «S» – «непосредственно следующий»

(например, $S(0) = 1$, $S(2) = 3$)

б) операция сложения «+»

в) операция умножения на «*»

г) оператор равенства =

оператор S имеет вес, равный 1, а остальные 3 имеют вес 2;

– 9 новых аксиом:

$$(A,6) (\forall x) x + 0 = x$$

$$(A,7) (\forall x) x * 0 = 0$$

$$(A,8) (\forall x) \neg (S(x)) = 0$$

$$(A,9) (\forall x) (\forall y) (x + S(y)) = S(x + y)$$

$$(A,10) (\forall x) (\forall y) x * S(y) = x * y + x$$

$$(A,11) (\forall x) (\forall y) (S(x) = S(y)) \supset (x = y)$$

(A,12) $(\forall x) (\forall y) (x = y) \supset (S(x) = S(y))$

(A,13) $(\forall x) (\forall y) (\forall z) (x = y) \supset ((x = z) \supset (y = z))$

(A,14) $(A(0) \text{ и } (\forall u) (A(u) \supset A(S(u)))) \supset (\forall u) A(u)$

для всякой формулы $A(u)$ данной формальной системы¹.

Аксиома (A,14) носит название аксиомы математической индукции.

Заметим, что аксиомы Пеано воспроизводят фактически аксиомы работы (1861) Германа Грассмана (German Grassmann: 1809–1877) [91].

В 1931 г. в работе [33] К. Геделя появилась теорема, названная Второй теоремой Геделя о неполноте арифметики: «*В формальной арифметике существуют формулы t , такие, что ни t , ни $\neg t$ не являются доказуемыми*».

Равносильная формулировка этой теоремы звучит так: «*Если формальная арифметика непротиворечива, то она неполна*».

В 1936 г. Герхардом Генценом (Gerhard Karl Gentzen: 1909–1945) была доказана² непротиворечивость формальной арифметики [107]. Тем самым в силу результата Геделя формальная арифметика неполна.

Еще две теоремы дополняют этот результат: Тарского (1935) и Черча (1936):

¹ В оригинальной работе Пеано вместо (A,8), (A,11), (A,12) и (A,13) были следующие аксиомы:

1. $1 \in \mathbb{N}$ («1 есть натуральное число»);

2. $(x \in \mathbb{N}) \supset (S(x) \in \mathbb{N})$ («следующее за натуральным числом будет натуральным числом»);

3. 1 не следует ни за каким натуральным числом;

4. $((S(b)=a) \supset ((S(c)=a) \supset (b=c)))$, т. е. всякое натуральное число следует только за одним натуральным числом.

² Г. Генцен – немецкий математик и логик, получил степень Ph. D. в 1933 г. Его научными руководителями были: формально – Герман Вейль (Hermann Weyl: 1885–1955), фактически – Пауль Бернайс (Paul Isaak Bernays: 1888–1977).

Теорема Тарского [92]:

Существуют формальные системы, для которых всякая интерпретация приводит к выражениям одновременно истинным и недоказуемым.

Более подробно эта теорема утверждает, что в каждой интерпретации (данной системы) существует, по крайней мере, одна формула, всегда интерпретируемая как ИСТИНА, которая, тем не менее, не является теоремой данной формальной системы.

Теорема Черча [93]:

Исчисление предикатов первого порядка неразрешимо.

Иными словами существуют формальные системы, для которых нельзя построить системы процедур, позволяющих отличать теоремы от не-теорем. Эти системы, как говорят, не являются рекурсивно перечислимыми (или кратко – неразрешимыми).

А. Тарски показал [92], что теории групп, колец и тел являются неразрешимыми (но проективная геометрия (в пространстве вещественных чисел) и теория вещественных замкнутых тел – разрешимые), неразрешима и проблема «останова» программы, выполненной на машине Тьюринга.

Напомним, что вторую теорему Геделя, теорему Тарского (1935) и Черча (1936) принято называть *теоремами ограничения*.

Существенный прогресс в установлении выводимости после работ А. Тарского в 1930–40-е гг. наступил в работе [94] С. Ю. Маслова (см. гл. II, § 11), в которой впервые был предложен метод автоматического поиска доказательства теорем в исчислении предикатов.

Нами не случайно уделено столько времени формальным системам. Дело в том, что системы ИИ характеризуются (в отличие от обычных компьютеров) базами знаний. Именно базы зна-

ний (при наличии баз данных) являются в ИИ основным объектом формирования, обработки и исследования.

Для баз знаний в ИИ существует два типа методов представления знаний (ПЗ) [98]:

1. *Формальные модели ПЗ.*
2. *Неформальные модели ПЗ (семантические, реляционные).*

Напомним, что знания характеризуются:

- | | | |
|--|--|-----------------------------------|
| 1) внутренней
интерпретируемостью; | | семантической связью ¹ |
| 2) структурируемостью; | | |
| 3) связностью, т. е. наличием иерархической сети, в вершинах которой находятся информационные единицы; | | |
- 4) семантической метрикой (характеризует ситуационную близость информационных единиц или, иначе, отношение «релевантности»);
- 5) активностью (появление в базе знаний фактов или описание событий, или установление связей может стать источником активности системы).

Возвращаясь к методам ПЗ, отметим, что каждому из методов ПЗ соответствует свой способ описания знаний. Сейчас пока используется четыре модели: логические, сетевые, продукционные и фреймовые.

а) *Логические модели.* Эти модели основаны на формальной системе, как правило, задаваемой четверкой $M = \langle T, P, A, B \rangle$, где:

– T – множество *базовых элементов*, например слов из ограниченного словаря. При этом существует процедура $\Pi(T)$ проверки принадлежности или непринадлежности произвольного элемента к T .

¹ Подробнее о семантике см. гл. IV, с. 164.

– P – множество *семантических* правил, с помощью которых строятся из элементов T синтаксически правильные совокупности. При этом должна существовать процедура $\Pi(P)$, с помощью которой за конечное число шагов можно получить ответ на вопрос: будет ли совокупность X синтаксически правильной?

– Во множестве синтаксически правильных совокупностей выделено некоторое подмножество A , называемое набором *аксиом*, для которого должна существовать процедура $\Pi(A)$, с помощью которой для любой синтаксически правильной совокупности можно получить ответ на вопрос о принадлежности ее к множеству A .

– Наконец, множество B , называемое *правилами вывода*, применяется к элементам из A , и в результате получают новые синтаксически правильные совокупности, к которым вновь можно применять правило из B , и которые образуют множество *выводимых* в данной формальной системе совокупностей.

Напомним, что если существует процедура $\Pi(B)$, с помощью которой можно определить, является ли любая синтаксически правильная совокупность выводимой, то соответствующая формальная система называется *разрешимой*.

На практике достаточно хранить в базе знаний лишь A , а остальные знания получать из них по правилам вывода [97].

б) *Сетевые модели.*

В основе моделей этого типа лежит семантическая сеть, т. е. $H = \langle I, C_1, \dots, C_n, G \rangle$, где I – множество информационных единиц, $K = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ – множество типов связей между информационными единицами, а G – отображение: $I \rightarrow K$.

Сети, как правило, используются в ИИ трех типов: классифицирующие сети, функциональные сети (включая и нейронные сети) и сценарии.

Классифицирующие сети позволяют вводить в базах знаний иерархические отношения между информационными единицами, так как эти сети используют отношения структуризации.

Функциональные сети имеют в наличии функциональные отношения, которые позволяют описывать процедуры вычисления одних информационных единиц через другие (простейший пример такой функциональной сети дают графы потока сигналов (см. [75, § 28]).

В сценариях, как известно, используются казуальные отношения, а также отношения типа «средство-результат» и др.

Преимущество сетей: 1) модель позволяет работать с не полностью определенными знаниями; 2) модель (зачастую более адекватно (по сравнению с логической моделью) отображает реальность.

Недостаток сетевой модели кроется в сложности реального явления или процесса, для которого строится сетевая модель: чем больше сеть, тем труднее поиск [98].

в) *Продукционные модели.*

Эти модели – синтез элементов логической и сетевой моделей. Из логических моделей заимствована идея правил вывода (называемых в этой модели *продукциями*), а из сетевых моделей – описание знаний в виде семантической сети. В продукционных моделях процедурная информация явно выделена и по описанию отличается от декларативной информации. Особенностью этих моделей является *вывод на знаниях* (вместо логического вывода в логических моделях) [103].

В общем случае продукционную модель можно представить в виде четверки: $\langle S, L; A \rightarrow B; Q \rangle$, где

- S – описание класса ситуаций;
- L – условие, при котором продукция активируется;
- $A \rightarrow B$ – ядро продукции;

- Q – постусловие проекционного правила.

Коротко – проекционная модель позволяет представить знание в виде предложения: Если (A = условие), то (B = действие) [89].

Преимущества модели: 1) простота основной единицы – продукции; 2) легкость модификации базы знаний (БЗ); 3) строгость механизма логического вывода.

Недостатки: 1) малая степень структуризации БЗ; 2) неуниверсальность; 3) при большом числе единиц возможны противоречия в сети.

Среди языков, реализующих продукционные модели, пока наиболее известен ПРОЛОГ [95] – язык и система логического программирования, основанные на языке предикатов дизъюнктов¹ Альфреда Хорна (Alfred Horn: 1918–2001).

г) *Фреймовые модели.*

В отличие от сетевых и продукционных моделей фреймовые модели имеют точного автора и время появления. Автор, называемый «отцом» ИИ, – Мэрвин Мински (Marvin Minsky: 1927). Время – рубеж 60–70-х гг. XX в.²

Напомним, под фреймом понимается абстрактный образ или ситуация. Формализованная модель для отображения образа или ситуации также носит название фрейма.

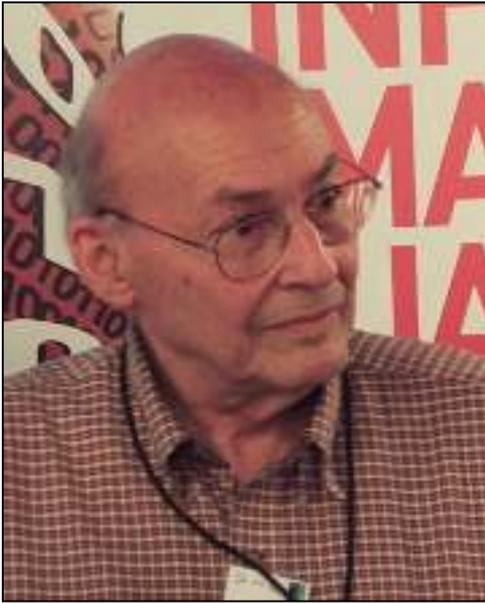
В отличие от других моделей в фреймовых моделях фиксируется жесткая структура информационных единиц. Эта структура называется протофреймом. Из протофреймов получаются *фреймы-экземпляры*. Переход от протофрейма к фрейму-экземпляру может быть многошаговым за счет уточнения значения слотов³.

Отметим, что в некоторых учебниках фреймовые модели отдельно не выделяются, они считаются синтезом трех других моделей.

¹ Эти дизъюнкты и их применение изучались в работе А. Хорна, 1951 г. [96].

² Minsky M. Semantic Information Processing. – Cambridge, MA: MIT Press, 1969.

³ Слот – элемент фрейма. Обычно один фрейм может содержать множество слотов.



Мэрвин Мински

Вернемся теперь к *Мэрвину Мински*, родившемуся в 1927 г. в Нью-Йорке в еврейской семье выходцев из Российской Империи – врача Генри Минского (Henry Minsky) и художницы Фанни Ризье (Fannie Resier). В 1944–1945 гг. М. Мински служит в Военно-морском флоте США. Позже начинает учиться в Гарварде. Степень бакалавра (в Гарварде) получает в 1950 г., степень Ph. D. (в Принстоне) – в 1954 г. Вместе с

Маккарти в 1959 г. основывает при MIT Лабораторию ИИ. Уже в 1951 г. М. Мински сконструировал первую обучающую машину со случайно связанной нейросетью – SNARC. Его диссертация в Принстоне «Neural Nets and the Brain Model Problem» 1954 г. содержала необходимую теорию об обучении системы, содержащей нейросеть. В 1957 г. Фрэнк Розенблатт (Frank Rosenblatt: 1928–1971) предложил математическую и компьютерную модель восприятия информации мозгом, названную персептроном¹.

В 1969 г. вместе с Сеймуром Пейпертом (Seymour Papert: 1928) М. Мински выпускает работу «Персептрон», в которой теория элементарного перцептрона переизложена на языке предикатов. Кроме строгости, это позволило выявить принципиальные ограничения персептронов (при, например, параллельных вычислениях) [99].

В 1972 г. (также в соавторстве с С. Пейпертом) вышла книга «Искусственный интеллект», получившая всемирную извест-

¹ Перцептрон (или персептрон) (англ. *perceptron*) от лат. *perception* – восприятие.

ность [100]. Широкую популярность имели и работы М. Минского, посвященные робототехнике¹. Не случайно за эту работу в 1990 г. М. Мински был удостоен премии Японии. М. Мински известен как автор первого конфокального сканирующего микроскопа (1956).

Выше был упомянут **Фрэнк Розенблатт**. Он также как и М. Мински родился в Нью-Йорке (в 1928 г.). Закончил в 1946 г. ту же среднюю школу в Бронксе, что и М. Мински (с научным профилем). А вот затем пути М. Мински и Ф. Розенблатта были разными. Ф. Розенблатт поступил в Корнельский университет на специальность «Психология». После окончания университета (1950–1955) он работает в Национальной корпорации здравоохранения и исследовательском центре социальных наук. С 1956 г. Ф. Розенблатт – сотрудник Корнельской аэронавтической Лаборатории, где возглавляет с 1959 г. программу по проблеме распознавания образов. Под его руководством в 1958–1960 гг. строится вычислительная система, имитирующая глаз человека «Марк 1». Это был первый нейрокомпьютер, способный обучаться, основанный на идее перцептрона, предложенной Ф. Розенблаттом в 1957 г. Широкую известность принес Ф. Розенблатту курс лекций для будущих бакалавров психологии «Теория механизмов мозга» [101]. Ф. Розенблатт трагически погиб в 1971 г. во время прогулки на яхте.



Фрэнк Розенблатт

¹ Minsky M. *Robotics*. – Doubleday, 1986.



Сеймур Пейперт

Сеймур Пейперт родился в 1928 г. в Претории (Южная Африка). В 1949 г. он получает степень бакалавра, а в 1952 г. – Ph. D. в Университете города Витватерсранд (Witwatersrand) по математике. Из-за активной борьбы С. Пейперта против апартеида, он вынужден был покинуть Южную Африку и переехал в Англию, где продолжил учебу¹ в 1954–1959 гг. в Кембриджском университете. Там же получил степень Ph. D. (1959).

В том же 1959 г. С. Пейперт едет в Женеву, где в течение пяти лет преподает в Женевском университете, сотрудничает с Жаном Пиаже (Jean Piaget: 1896–1980) – одним из крупнейших психологов первой половины XX века.

В 1963 г. С. Пейперт начинает работать исследователем в MIT. В 1967 г. он получает звание профессора прикладной математики и становится Директором Лаборатории искусственного интеллекта при MIT². Позже С. Пейперт уделяет основное свое внимание развитию и обучению детей. (В 1988 г. специально для С. Пейперта при MIT была для этих целей создана кафедра.) Еще в Женеве С. Пейперт создал язык LOGO, который, по замыслу С. Пейперта и Ж. Пиаже, должен был открыть путь детям к овладению компьютерными технологиями³. Вместе с М. Мински Сеймур Пейперт принадлежит к первым творцам систем ИИ [102].

¹ В годы учебы в Кембридже С. Пейперт – активный участник «Социалистического обозрения».

² На этой должности он пробыл до 1981 г.

³ В России нашлось немало его последователей. Не случайно С. Пейперт неоднократно приезжал в 2000-е гг. в Москву и Санкт-Петербург. Среди его последователей в России отметим С. И. Горлицкую (р. 1947) (см., например, [111]). Жена С. Пейперта – искусствовед из России.

Упражнения

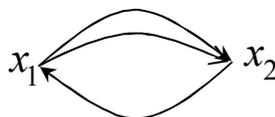
1. Запишите в префиксной форме выражения:

а) $(p \supset q) \subset (s \supset q)$;

б) $\left(\sin \left(x^2 + \sqrt{x^2 + y} \right) \right) / \sqrt[3]{x^4 + y^4}$;

в) $\left[\operatorname{tg} \left(\log \left(x^3 + \lfloor x \rfloor \right) \right) \right]$.

2. Приведите пример сетевой модели, граф которой имеет вид:



3. Приведите пример продукционной модели.

4. Приведите пример фреймовой модели.

5. Дайте описание языка LOGO.

§ 14. Экспертные системы

В настоящее время экспертные системы образуют ядро интеллектуальных искусственных систем.

Напомним, что типичная экспертная система имеет вид (архитектуру), представленный на рис. 14.1 [104, с. 16].

Разумеется, экспертные системы не сразу приобрели вид, данный на рис. 14.1. Отдельные интеллектуальные системы, имитирующие различные стороны человеческой деятельности с использованием аналоговых или даже цифровых компьютеров, характерны для периода Второй мировой войны.

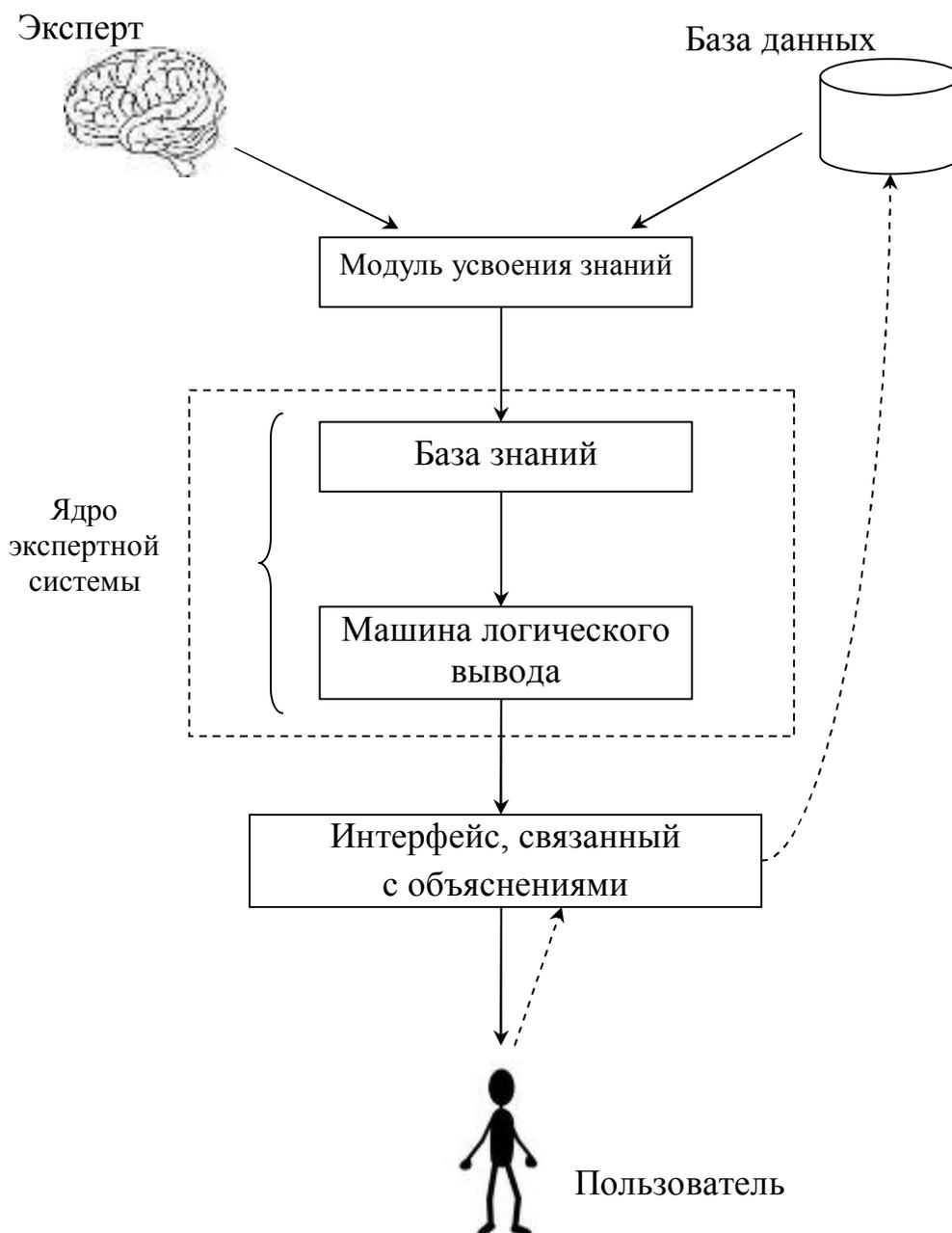


Рис. 14.1. Типичная экспертная система

Так, уже в сентябре 1943 г. немецкая подводная лодка стала использовать самонаводящиеся акустические торпеды «Zaunkönig»¹. Т. 5. Головные части известных немецких ракет «Фау 2» были снабжены компьютером К. Цузе «Z-3», позволявшим уточнять координаты цели по скорости ракеты и времени полета.

¹ = Троглодит.

В 1943 г. Норбертом Винером (Norbert Wiener: 1894–1964) в короткой заметке, написанной вместе с Артуром Розенблатом (Arturo Rosenblueth: 1900–1970) и Джулиан Бигелов (Julian Bigelow: 1913–2003) «Поведение, цель и телеология»¹ [105], впервые в науке обозначена проблема перенесения на неживые системы черт поведения «homo sapiens», в частности умения обучаться и принимать адекватные решения.

В 1948 г. Н. Винер издает свою знаменитейшую книгу «Кибернетика или...» [106], в которой законы кибернетики объявляются универсальными для живой и неживой природы. При этом нейронные сети должны были стать одним из классов использования «Computational Intelligence» и при этом использования, так называемой «зашумленной», числовой информации при применении различных стохастических алгоритмов.

В 1943 г. тогда же, когда появилась указанная выше работа Норберта Винера, Артура Розенблата и Джулиана Бигелов, вышла статья нейрофизиолога Уоррена Маккалока и логика Уолтера Питса (Warren McCulloch: 1898–1969; Walter Pitts: 1923–1969) [113], давшая на языке математической логики модель нейронной сети.

Через 14 лет (1957) Фрэнк Розенблатт² издал работу, посвященную самоорганизующемуся автомату, названному «Перцептроном» [112] и являвшемуся моделью сетчатки глаза. (Мы уже знаем, что М. Мински и С. Пейперт в 1969 г. показали ограниченность данной модели. И это на 20 лет затормозило исследование нейронных сетей.)

¹ Телеология – онтологическое учение о целесообразности бытия. Появилось в космологии Платона как «душа мира»; у Аристотеля – это теория «бессознательной» целесообразности, сообщаемой миру «творцом» (= перводвигателем).

² Фрэнк Розенблатт (Frank C. Rosenblatt: 1928–1971) – американский компьютерный специалист, а Артуро Розенблат (Arturo Rosenblueth) – мексиканский психолог и исследователь.

В том же 1957 г. исследователи ИИ обратились к идее эвристического поиска. Пионерами были Аллен Ньюэлл (Allen Newell: 1927–1992) и Джон Клиффорд Шоу (John Clifford Shaw: 1922–1991), работавшие в RAND Corporation (в Калифорнии), а также присоединившийся к ним Герберт Саймон (Herbert Simon: 1916–2001) из Технологического Института Карнеги (в Питтсбурге). Вместе они образовали команду, называвшуюся в среде американских «компьютерщиков» NSS (по первым буквам фамилий).

Именно команда NSS подготовила почву для широкого развития ИИ: языки программирования, компьютерная симуляция, проблемы принятия человеком (или ИИ) решения¹, коммуникация человека и машины.

В 1954 г. А. Ньюэлл покинул RAND, чтобы завершить работу над диссертацией под руководством Г. Саймона. Тем не менее команда NSS продолжила работу над тремя проектами: (C.I.P.) (= Complex Information Processing) – базой компьютерных программ, развивающих шахматные программы, (LT) (= Logic Theorist) – создание языка программирования для поддержки программ (Information Processing Language), и, наконец, GPS (= General Problem Solver) – проблема эвристического поиска.

Язык IPL был создан уже к концу 1954 г., проблема эвристического поиска закончена к 1957 г., а вот проект (C.I.P.) хотя и был формально завершен, но не дал ожидаемого результата – игру на уровне гроссмейстера. (Напомним, что первую шахматную программу составил еще А. Тьюринг в 1949 г.²)

Несколько отвлекаясь, заметим, что в 1949–1950 гг. Клод Шеннон (Claude Elwood Shannon: 1916–2001) сделал несколько докладов о шахматных программах и опубликовал статью о про-

¹ Human Problem Solving – проблема принятия решения при движении из одного состояния человека или ИИ в другое, являющееся целью.

² Демонстрировать этот алгоритм А. Тьюринг стал публично в 1951 г., выполняя роль «исполнителя» команд машины.

граммировании компьютера для игры в шахматы (см. [114]), а в 1951 г. им создана и машина, игравшая в шахматы. (Более того, в 1952 г. К. Шеннон создает обучаемую машину по поиску выхода из лабиринта.) В 1957 г. американский программист Александр Бернштейн (Alex Bernstein) усовершенствовал программу К. Шеннона (см. [116]).

В 1958 г. шестой чемпион мира по шахматам доктор технических наук Михаил Моисеевич Ботвинник (1911–1995) открыто заявляет о возможности создания «компьютерного гроссмейстера». Более того, в Лаборатории, которую он возглавляет в ВНИИЭ Минэнерго СССР, начинается работа по проекту «Пионер» – создания «шахматного мастера» [115]. При этом сразу же идет отказ от простого перебора позиций, и делается упор на эвристические методы поиска.

Работа была фактически завершена только через 20 лет, но тогдашняя власть в СССР не дала возможности проверить ее на достаточно мощных ЭВМ, которые были на Западе.

В 1960–1961 гг. М. М. Ботвинник был руководителем дипломной работы выпускника механико-математического факультета Новосибирского университета Владимира Ивановича Бутенко (р. 1939), который до 1970 г. принимал участие в проекте «Пионер». Позже В. И. Бутенко сам создал первую Сибирскую шахматную программу «Эврика»¹.



М. М. Ботвинник

С 1957 г. проблемами искусственного интеллекта занимался и Ге-

¹ Бутенко В. И. *Первая Сибирская шахматная программа «Эврика» и ее особенности.* – Новосибирск: Ротапринт ВЦ СО АН СССР, 1985.

оргий Максимович Адельсон-Вельский (р. 1922). В 1965 г. в Институте теоретической и экспериментальной физики АН СССР он возглавил работу по разработке компьютерной шахматной программы. Эта программа победила в 1965–1966 гг. в матче по телеграфной переписке программу Коток-Маккарти. (Алан Коток (Alan Kotok: 1941–2006) усовершенствовал программу Маккарти¹ 1959 г., под чьим руководством он получил степени бакалавра и магистра)². Позже на основе программы Г. М. Адельсона-Вельского будет создана программа «Каисса», выигравшая первый официальный шахматный чемпионат мира по шахматным программам в Стокгольме в 1974 г.

Вернемся снова в 1958 г. Именно в том году команда NSS разработала алгоритм уменьшения дерева поиска Альфа-бета отсечения, на основе которого построены были функции поиска всех сильных шахматных западных программ³.

К сожалению, система GPS не могла решать реальные задачи, что стало очевидно к концу 60-х гг. XX в. И тогда же в Стэнфордском университете группа ученых во главе с Эдвардом Фейгенбаумом (Edward Albert Feigenbaum: 1936) выдвинула совершенно другую стратегию решения проблемы ИИ: вместо поиска универсального решения для любой задачи ИИ они обратились к опыту человека. Для решения той или иной проблемы в той или иной области человек, прежде всего, обращается к опыту специалиста по данной проблематике и овладевает необходимыми разнообразными умениями и набором специфических правил.

¹ Mc Carthy's IBM 704 chess-playing program (1959).

² В западной литературе до сих пор можно встретить утверждения, что победа была достигнута за счет «консультаций шестого чемпиона мира по шахматам Михаила М. Ботвинника».

³ Первой машиной, спроектированной только для игры в шахматы и игравшей на уровне мастера, была «Belle», законченная в 1983 г. Ее создатели Кен Томпсон (Kenneth Thompson: 1943) и Джо Кондон (Joseph Condon). Кен Томпсон является также одним из создателей операционной системы UNIX.

В 1971 г. Э. Фейгенбаум, защитивший степень Ph. D. под руководством Саймона в СИТ¹, публикует работу [117] об интерпретаторе для масс-спектрограммы DENDRAL, ставшей прототипом всех экспертных систем. Видимо поэтому в американской литературе Э. Фейгенбаума нередко называют «отцом» экспертных систем.

В 1976 г. появилась вариация системы DENDRAL для медицинских целей под названием MYCIN, позволившей ставить диагноз и выбирать лечение при заболеваниях, вызванных бактериальной инфекцией, и заболеваниях свертываемости крови. Автор Эдвард (Тэд) Шортлифф (Edward H. Schortliffe: 1947) ввел вместо вероятностей так называемые «коэффициенты уверенности», позволявшие прийти к правдоподобным заключениям на основе даже не вполне достоверных данных. Отметим, что как DENDRAL, так и MYCIN были логическими моделями.

В 1980 г. в Польше под руководством В. П. Одинца и Ю. А. Хрощицкого (Juliusz Antoni Chrościcki: 1943) была начата работа по созданию экспертной системы по атрибуции и датировке предметов живописи (AiD). Эта система должна была стать первой в мире сетевой моделью ЭС. Была создана база знаний [118], и начато создание базы данных. К сожалению, события 1980–1981 гг. не позволили закончить тогда работу [119]. В качестве метрики в модели AiD была выбрана «сила связи», определяемая по специальному правилу, предложенному экспертом. Любопытно, что сделанный прогноз 10 параметров того, как должно было выглядеть одно из уничтоженных творений Рубенса (1577–1640) (триумфальная арка), в связи с найденными через три года после публикации статьи в «Artibus» [118] документами, описывающими это произведение, подтвердился полностью по 9 параметрам и наполовину по одному параметру.

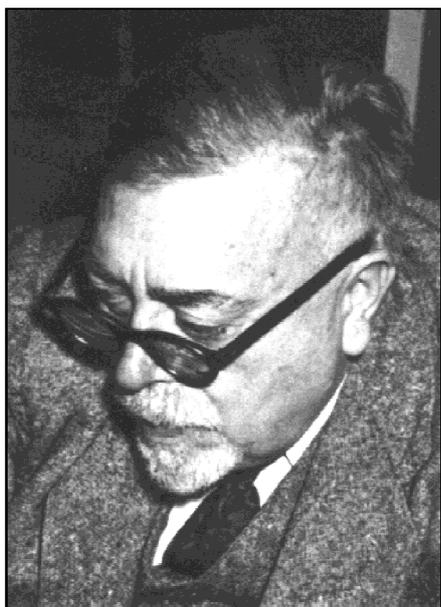
¹ Carnegie Institute of Technology (теперь Carnegie Mellon University).

Добавим, что экспертные системы являются наиболее быстро развивающимся сегментом коммерческого применения ИИ, в несколько раз пока опережая робототехнику.

С другой стороны, появление в 1982 г. [138] машинной обучающей системы EURISKO (ее автор Дуг Ленат (Douglas Lenat: 1950), ученик профессора Э. Фейгенбаума) позволяет надеяться на неограниченные возможности применения роботов и их коммерческий успех.

Приведем краткие биографии некоторых из упомянутых выше и причастных к созданию экспертных систем ученых.

Норберт Винер родился в университетском городке штата Миссури Коламбия (Columbia) в 1894 г. в семье выходца из Российской Империи (город Белосток – теперь в Польше) Лео Винера. Отец, известный полиглот и историк, позже основал в Гарварде первую в Америке кафедру славянской культуры и стал пер-



Норберт Винер

вым в Америке профессором славянской литературы. Л. Винер любил русский язык¹ и эту любовь передал сыну.

Норберт, однако, рано увлекся математикой. Уже в 1909 г. в возрасте 14 лет Н. Винер получает степень бакалавра по математике. Затем год изучает зоологию в Гарварде, а позже (с 1910 г.) – философию в Корнельском университете. Вновь вернувшись в Гарвард, Н. Винер в 1913 г. получает степень Ph. D.

¹ Л. Винер перевел на английский язык 24-томное собрание сочинений Льва Толстого.

по математике под руководством логика Карла Шмидта (Karl Schmidt: 1874–1961). В диссертации, в частности, Н. Винер вводит понятие упорядоченной пары¹. В первой половине 1914 г. Н. Винер путешествует по Европе, встречаясь с Б. Расселом и Г. Харди в Кембридже, а с Д. Гильбертом и Эд. Ландау – в Геттингене. Во время Первой мировой войны Н. Винер, будучи преподавателем в Гарварде, проходит путь от пацифиста до патриота, несколько раз пытаясь вступить в армию, но неудачно (из-за плохого зрения). В 1918 г. Освальд Веблен (Oswald Veblen: 1880–1960)² инициирует сотрудничество Н. Винера с Абердинской баллистической лабораторией, основанной в Мэриленде. Из-за антисемитизма, воцарившегося после Первой мировой войны в Гарварде (и в частности, из-за постоянных придирок со стороны влиятельнейшего математика Георга Биркгофа (Birkhoff George David: 1884–1944)³, Н. Винер перешел в MIT. В 1926 г. Н. Винер по стипендии Гуггенхайма едет в Геттинген и Кембридж, изучая броуновское движение и другие стохастические процессы (названные позже Винеровскими), интеграл Фурье, проблему Дирихле и гармонический анализ. Во время Второй мировой войны Н. Винер занимался усовершенствованием орудий противовоздушной обороны средствами оповещения, связи и т. д.

Все вместе это послужило почвой для создания кибернетики и когнитивной науки, способствовало исследованиям MIT в области нейропсихологии, биофизики нейронных систем и вовлечению в эти исследования Уоррена Маккалока и Уолтера Питтса.

¹ Фактически речь идет о свойствах дуг графа, хотя термин «граф» не упоминается.

² О. Веблен был, кстати, научным руководителем А. Черча.

³ В 1925–1926 гг. Г. Биркгоф был Президентом Американского Математического общества. Заметим, что А. Эйнштейн отмечал антисемитизм Георга Биркгофа.



Арту́ро Розенблат

После Второй мировой войны Н. Винер отказывается принимать участие в любых проектах, связанных с милитаризацией жизни. Он был горячим сторонником ядерного разоружения и прекращения «холодной войны» с СССР. Умер Н. Винер в 1964 г. в Стокгольме (см. [102]).



Герман Саймон

Арту́ро Розенблат родился в Мексике в 1900 г., учился в Мехико, затем – в Берлине и Париже, где получил диплом врача. Вернувшись в 1927 г. в Мехико, А. Розенблат преподает и занимается исследованиями в области психологии. В 1930 г., получив Гуггенхеймовскую стипендию, едет в Гарвард и тогда же знакомится с Н. Винером.

В 1944 г. А. Розенблат получил должность профессора психологии в Автономном Национальном университете г. Мехико. В 1947–1949 гг. и 1951–1952 гг. А. Розенблат (по гранту Рокфеллера) вновь работает с Н. Винером. Умер А. Розенблат в 1970 г. в Мексике; в том же году вышла его знаменитая книга: «Память и ЭВМ: философия науки» [120].

В 1916 г. в г. Милуоки (штат Висконсин) в еврейской семье инженера, выходца из Германии родился *Герман Саймон* (1916–2001). По своему влиянию на науку он очень похож на Леонида Витальевича Канторовича (1912–1986)¹. Под влиянием младшего брата своей матери (экономиста) Г. Саймон изучает социальные науки в Чикагском университете, получает там степень бакалавра (1936) и Ph. D. (1943) по политическим наукам. Одновременно (с 1933 г.) Г. Саймон много внимания уделяет математике. Основным учителем Г. Саймона становится специалист по эконометрии и математической экономике Генри Шульц (Henry Schulz: 1893–1938), эмигрант из Российской Империи, родившийся на территории современной Белоруссии, один из создателей эконометрии².

С 1939 по 1942 г. Г. Саймон был директором исследовательской группы Университета Беркли (Калифорния), с 1942 по 1949 г. – деканом факультета политических наук при Иллинойском технологическом институте. С 1949 г. (и до своей кончины в 2001 г.) Г. Саймон был связан с Карнеги Тех (переименованном позже в Карнеги-Меллон университет). Там он читал различные курсы, включая психологию и компьютерные науки. С 1949 по 1955 г. Г. Саймон основное внимание уделяет математической экономике, при этом вместе с Дэвидом Хокинсом (David Hawkins: 1913–2002)³ в 1949 г. получает необходимые и достаточные условия

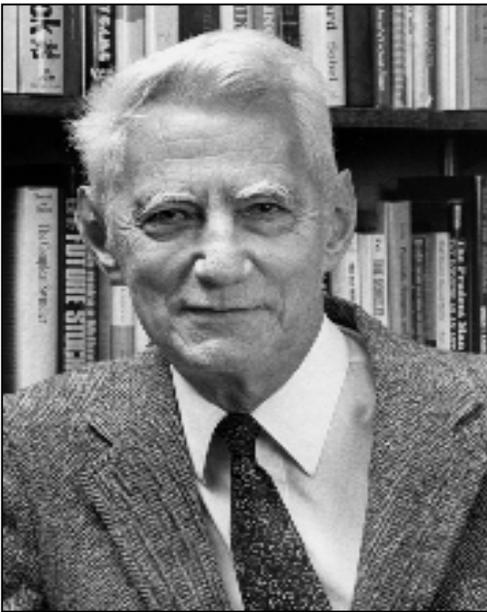
¹ Нобелевский лауреат по экономике (1975) и выдающийся советский математик (см. также выше, начало § 6).

² Г. Шульц трагически погиб в возрасте 45 лет вместе со своей семьей в автокатастрофе около Сан-Диего.

³ Д. Хокинс родился в Эл-Пасо. Получив степени бакалавра (1934) и магистра (1937) в Стенфордском университете по философии науки и Ph. D. (1940) в Калифорнийском университете (по теории вероятностей), он становится помощником Р. Оппенгеймера в Манхеттенском проекте (создания атомной бомбы). В 1938–1943 гг. был членом Компартии США. В 1949 г. сотрудничает с Г. Саймоном по изучению макроэкономики. Из-за начавшейся в 1949 г. в

существования положительного вектора для решения системы с матрицей «вход-выход» Василия Васильевича Леонтьева (1905–1999) [121], будущего Нобелевского лауреата по экономике (1973). Кстати, с другим Нобелевским лауреатом Т. Купмансом (Tjalling Koopmans: 1910–1985) Г. Саймон работает в 40-е гг. в Комиссии по аренде (Cowles Commission). О работе команды NSS говорилось выше. Со своим учеником Эдвардом Фейгенбаумом он развивает ЕРАМ-теорию (Elementary Perceiver and Memorizer). В 1975 г. Г. Саймон получает премию Тьюринга «за работу по ИИ», а в 1978 г. становится лауреатом Нобелевской премии¹ по экономике за исследования в области принятия решения в процессах без экономической организации [122].

Как и Г. Саймон, *Клод Элвуд Шеннон* родился в 1916 г. (и умер в 2001 г.). Мать Клода была учительницей иностранных



Клод Шеннон

языков, и поэтому очень рано Клод приобщился к их изучению. Однако его призванием с детства было конструирование и математика.

Примером для него служила старшая сестра Катерина, ставшая магистром математики. В 1932 г. К. Шеннон поступил в Мичиганский университет, став (в 1936 г.) бакалавром по электротехнике и математике. В том же 1936 г. он был принят лаборантом в МИТ, где обслуживал анало-

США антикоммунистической истерии Д. Хокинсу было разрешено заниматься лишь подготовкой учителей математики для школ.

¹ Правильнее эту премию называть «премией памяти А. Нобеля».

говый компьютер Веннивера Буша (Vannevar Bush: 1890–1974), позволявший решать дифференциальные уравнения до шестого порядка включительно. Его начальником был сам В. Буш, профессор, глава инженерной части МИТ, ставший в 1938 г. Президентом Института Карнеги в Вашингтоне¹. Он посоветовал К. Шеннону заняться генетикой (генетика входила в тематику исследований Института Карнеги), придав ей алгебраический аппарат.

Параллельно К. Шеннон занимается зависимостями в пропускных способностях систем связи с шумами и искажениями в этих системах. В 1940 г. К. Шеннон защищает диссертацию на степень Ph. D. «Алгебра в теоретической генетике». (Руководителем со стороны МИТ был алгебраист, профессор Фрэнк Л. Хичкок (Frank Lauren Hitchcock: 1875–1957), эксперт в области математической химии и кватернионов.)

Одновременно К. Шеннон защищает магистерскую диссертацию по электротехнике. Академический 1940/41 год К. Шеннон проводит на стажировке в Принстоне, где под руководством Германа Вейля (Hermann Weyl: 1885–1955) оформляет свои идеи относительно теории информации.

Когда США начали принимать участие во Второй мировой войне, К. Шеннон в Лабораториях Белла разрабатывает радиотехнические устройства по обнаружению самолетов (а позже и ракет) противника.

В 1948 г. выходит знаменитая статья К. Шеннона «Математическая теория связи» [127], ставшая одним из краеугольных камней в развитии информатики, или, как теперь модно говорить, инфоноосферы [141]. Разумеется, эта работа важна и для ИИ.

Задачи, связанные с передачей информации по «защищенному» каналу, привели еще в 1943 г. К. Шеннона к идее связи про-

¹ С 1940 г. В. Буш становится советником Президента США по науке (в то время это был Франклин Делано Рузвельт (Franklin Delano Roosevelt: 1882–1945)).

блем передачи информации с криптологией [128]. По этому поводу К. Шеннон вступает тогда же в контакт с А. Тьюрингом. Напомним также, что еще в 1937 г. К. Шеннон представил работу (магистерская диссертация) о представлении булевских функций с помощью релейно-контактных схем. (Работа была опубликована год спустя [126]). Этот результат был получен в СССР раньше (1934–1935), но публикация Виктора Ивановича Шестакова (1907–1987) задержалась до 1941 г. [124; 125]. О работах К. Шеннона по программированию шахматной игры уже говорилось выше.

Эдвард Альберт Фейгенбаум – «отец» экспертных систем. Родился в 1936 г. в г. Уихокен (Weehawken, штат Нью-Джерси). Он окончил в Питтсбурге Технологический Институт Карнеги (ныне Carnegie Mellon University) и получил звание инженера (1956).

Диссертацию на степень Ph. D. Э. Фейгенбаум писал под руководством Г. Саймона (защитил в 1960 г.), а к концу 60-х гг. им и была создана система DENDRAL [130]. Позже Э. Фейгенбаум стал создателем энциклопедии «Карманная книга Искусственного Интеллекта». В течение многих лет профессор Э. Фейгенбаум был деканом факультета компьютерных наук и директором Вычислительного центра Стэнфордского университета. Он был также Президентом Американской Ассоциации Искусственного Интеллекта. В 1994–1997 гг. был главным научным специалистом Военно-воздушных сил США [102].

В заключение этого параграфа остановимся на двух принципиальных моментах – 1) машине вывода и 2) автоматизированном процессе извлечения знаний.

Как известно, машина вывода работает не всегда с точными данными. При этом для обработки данных применяют либо а) байесовскую логику, либо б) нечеткую логику, либо в) многозначную логику, либо г) коэффициенты «уверенности». Но не только этим рознятся машины вывода.

Они разнятся цепочкой рассуждений: либо «прямой» – когда идут от данных к гипотезам, либо «обратной» – когда ищут данные для доказательства или опровержения гипотезы. В 1983 г. Крис Нейлор (Chris Naylor) в работе «Как построить собственную экспертную систему» [131] попытался соединить оба подхода.

Что касается автоматизированного процесса извлечения знаний, то здесь еще остается широкое поле деятельности.

В работе 1984 г. [132] Ричард Форсайт (Richard Forsyth) попробовал применить дарвиновскую систему естественного отбора для создания и усиления правил классификации (кратко BEAGLE)¹, т. е. создал биологический эволюционный алгоритм, порождающий логические выражения.

В этой связи напомним, что Сергей Юрьевич Маслов дал метод построения машинных алгоритмов поиска логического вывода (для любых!) логических исчислений (а не только предикатов) еще в 1967 г. (ДАН СССР, т. 172, № 1), а подробно – год спустя [133].

¹ Biological Evolutionary Algorithm Generating Logical Expressions.

Заключение

Читатель, «добравшийся» до заключения, может резонно спросить: почему автор, говоря об искусственном интеллекте, не коснулся пяти изобретений Семена Николаевича Корсакова (1787–1853) по ИИ в России. Не вступая в полемику, приведу фрагмент решения Академии Наук от 24 октября 1832 г., подписанного академиками Остроградским, Купфером, Брандтом и профессором Парретом¹: «...Показав, таким образом, что это новое изобретение отнюдь не применимо к наукам, члены Комиссии все же отдают должное остроумию, сообразительности и изобретательности автора...»

Можно сделать вывод, что С. Н. Корсаков фактически своими изобретениями констатировал **потребность в базе знаний**, а члены Комиссии резонно указали, что для каждой науки (а значит, и задачи, решаемой этой наукой), нужен свой эксперт (см. [22]).

Добавим также, что обширная литература по проблеме искусственного интеллекта (до 1987 г.) содержится в книге Ж.-Л. Лорьера [89].

¹ Остроградский Михаил Васильевич (1801–1867), академик-математик; Купфер Адольф Яковлевич (1799–1865), академик по минералогии; Брандт Федор Федорович (1802–1879), экстраординарный академик зоологии; Паррет Иван Егорович (1791–1841), врач и естествоиспытатель, заведующий кафедрой физики Дерптского университета (по состоянию на 24.10.1832 г.).

Упражнения

1. Дана таблица по 100 умершим людям:

	Продолжительность жизни		Всего
	> 75 лет	≤ 75 лет	
Курящие (чел.)	19	34	53
Некурящие (чел.)	24	23	47
Всего	43	57	100

Пользуясь формулами Байеса, найти апостериорные шансы курящего мужчины прожить долгую жизнь (> 75 лет), если

Пол	Продолжительность жизни		Всего
	> 75 лет	≤ 75 лет	
Женщины (чел.)	34	36	60
Мужчины (чел.)	20	20	40
Всего	44	56	100

2. Дайте определение нечеткого множества и приведите примеры.

3. Дайте определение многозначной¹ логики ($n := 3, 4, 5$) и приведите примеры.

4. Напомним, что коэффициент уверенности (КУ) = разности между двумя мерами:

$$КУ[h:e] = MD[h:e] - MHD[h:e], \text{ где}$$

КУ[h:e] – уверенность в гипотезе h с учетом свидетельств e;

MD[h:e] – мера доверия h при заданном e;

MHD[h:e] – мера недоверия гипотезе h при свидетельствах e.

Перед заключением к главе III отметим, что обширная КУ [h:e] может изменяться от $(-1) =$ абсолютная ложь, до $(+1) =$ абсолютная истина, а $MD[h:e] \subset [0, 1]$, $MHD[h:e] \subset [0, 1]$. Приведите примеры коэффициентов уверенности, включая крайние значения.

¹ Напомним, что творцом многозначной логики был польский логик Ян Лукашевич (Łukaszewicz Jan: 1878–1956).

Список литературы

Основной

- [1] *The Oxford English Dictionary* / edited by John Simpson and Edmund Weiner. – Second Edition. – Oxford : Oxford University Press, 1989. – Vol's 1–20.
- [2] *Большой Англо-Русский словарь* / под рук. И. Р. Гальперина и Э. М. Медниковой : в 2-х т. – М. : Русский язык, 1988.
- [3] Одинец В. П. *Зарисовки по истории математики*. – Сыктывкар : Изд-во КГПИ, 2005. – 232 с.
- [4] Демпан И. Я. *История арифметики*. – М. : Гос. уч.-пед. изд-во, 1959. – 432 с.
- [5] Price Derek J. de Solla. *An Ancient Greek computer* // *Scientific American*. – June 1959. – P. 60–67.
- [6] Pastore G. *Atikythera El Regoli Calcolatori*. – Rome, 2006. – 73 p.
- [7] Апокин И. А., Майстров Л. Е. *Развитие вычислительных машин*. – М. : Наука, 1974. – 309 с.
- [8] Апокин И. А., Майстров Л. Е. *История вычислительной техники*. – М. : Наука, 1990. – 263 с.
- [9] Ланина Э. П. *История развития вычислительной техники*. – Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2001. – 167 с.
- [10] Исаков В. Н. *Элементы численных методов*. – М. : Академия, 2003. – 189 с.
- [11] Таненбаум Э. *Архитектура компьютера*. – 5-е изд. – СПб. : Питер, 2010. – 843 с.
- [12] Апокин И. А., Майстров Л. Е., Эдлин И. С. *Чарльз Бэббидж*. – М. : Наука, 1981.
- [13] Фихтенгольц Г. М. *Курс дифференциального и интегрального исчисления*. – М. : Физматлит, 1962. – Т. 2. – 807 с.
- [14] *Большая Советская энциклопедия* / гл. ред. Б. А. Введенский. – М. : Большая Советская Энциклопедия, 1957. – Т. 48. – 701 с.
- [15] Старцев П. А. *Очерки истории астрономии в Китае*. – М. : Госизд. физ-мат. лит-ры, 1961. – 156 с.

- [16] Jackson A. S. *Analog Computation*. – London & New York : Mc Graw-Hill, 1960.
- [17] Marguin J. *Histoire des instruments et machines à calculer – Trois siècles de mécanique pensante, 1642–1942*. – Paris : Hermann, 1994.
- [18] Залгаллер В. А. *Выпуклые многогранники с правильными гранями* / Записки научных семинаров ЛОМИ. – Ленинград : Наука, 1967. – Т. 2. – 220 с.
- [19] Mollenhoff C. R. *Atanasoff: Forgotten Father of the Computer*. – Ames (Iowa) : Iowa State University Press, 1988.
- [20] Дашевский Л. Н., Шкабара Е. А. *Как это начиналось*. – М. : Знание, 1981. – 64 с.
- [21] Detlefsen M. *Polnische Rechenmaschinenerfinder des 19 Jahrhunderts. Ein wenigbekanntes Kapitel polnischer Wissenschaftsgeschichte* // *Wissenschaft und Fortschritt*. – Т. 26. – № 2 (1976). – S. 86–91.
- [22] Кольман Э., Радовский М. И. *Из истории вычислительных устройств* (по материалам Архива АН СССР) // *Историко-математические исследования*. – М. : Наука, 1961. – Т. 14. – С. 550–586.
- [23] Одинец В. П. *К 200-летию со дня рождения создателей вычислительных машин, представленных к Демидовской премии, Х. З. Слонимского и Г. Куммера* // *Вестник Сыктывкарского университета*. – Сер. 1. – Вып. 13 (2011). – С. 137–144.
- [24] Ананьева О. А. *Счислитель Куммера* // *Памятники науки и техники в музеях России*. – М. : Наука, 2005. – Вып. 4. – С. 14–17.
- [25] Малиновский Б. Н. *История вычислительной техники в лицах*. – К. : КИТ, ПТОО «А.С.К», 1995. – 384 с.
- [26] Владимиров В. С. *Математика и создание первых образцов атомного оружия* : интервью от 17 октября 2008 г. – М. : Агентство PRoAtom. – 14 с.
- [27] Пройдаков Э., Ливеровский А. *Дальше так нельзя* : интервью с академиком В. С. Бурцевым // *РС WEEK*. – 2003. – 14 мая.
- [28] Одинец В. П. *О некоторых стереотипах при изложении истории информатики* // *Некоторые актуальные проблемы современ-*

ной математики и математического образования. Герценовские чтения – 2011. – СПб. : БАН, 2011. – Т. LXIV. – С. 193–198.

[29] *Очерки истории информатики в России* // Сб. научн. трудов. – Новосибирск : Научно-изд. Центр ОИГГ РАН, 1998.

[30] Post E. L. *Finite combinatorial processes-formulation I* // The Jour. of Symbolic Logic. – Т. 1. – № 3 (1936). – P. 103–105. (В русском переводе: Эмиль Л. Пост. Финитные комбинаторные процессы, формулировка 1. – в книге [31, с. 83–88])

[31] Успенский В. А. *Машина Поста*. – М. : Знание, 1988. – 96 с.

[32] Church A. *An unsolvable problem of elementary number theory* // Amer. J. Math. – 1936. – V. 58. – № 2. – P. 345–363.

[33] Gödel K. *Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme I* // Monatsheft Math. Phys. – Bd. 38, H. 1 (1931). – S. 173–198.

[34] Turing A. *On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem* // Proc. London Math. Soc. – Ser. 2. – V. 42. – № 3–4 (1936). – P. 230–265.

[35] Turing A. *A correction* // Proc. London Math. Soc. – Ser. 2. – V. 43. – № 7 (1937). – P. 544–546.

[36] Исаков В. Н., Исакова В. В. *Алгоритмизация и программирование: методические аспекты* // Информатика и образование. – № 2 (1995). – С. 44–48.

[37] Драгалин А. Г. *Математический интуиционизм. Введение в теорию доказательств*. – М. : Наука, 1979.

[38] Von Neumann J. *Zur Theorie der Gesellschaftsspiele* // Math. Ann. – 100 (1928). – S. 295–320. (В русском переводе: Дж. фон Нейман. К теории стратегических игр / Матричные игры. – М. : Физматлит, 1961.)

[39] Banach S., Tarski A. *Sur la decomposition des ensembles de points en parties respectivement congruentes* // Fundamenta Mathematicae. – № 6 (1924). – S. 244–277.

[40] Яценко И. В. *Парадоксы теории множеств* // Математическое просвещение. – 2002. – Вып. 20. – 40 с.

- [41] Hausdorff F. *Bemerkungen über den Inhalt von Punktmengen* // *Mathem. Annalen*. – Vol. 75 (1914). – S. 428–434.
- [42] von Neumann J. *The Mathematical Foundations of Quantum Mechanics*. – Princeton : Princeton Univ. Press, 1932.
- [43] von Neumann J., Morgenstern O. *Theory of Games and Economic Behavior*. – Princeton : Princeton Univ. Press, 1944.
- [44] Марков А. А. *Теория алгоритмов* // Труды МИАН СССР. – Т. 38 (1951). – С. 176–179. (См. также: Марков А. А. *Избранные труды*. – М. : Изд-во МЦНМО, 2003. – Т. II. – С. 32–43).
- [45] Одинец В. П., Поспелов М. В. *Введение в теорию алгоритмов* : учебное пособие. – Сыктывкар : Изд-во КГПИ, 2006. – 140 с.
- [46] Марков А. А. *Теория алгоритмов* // Труды МИАН СССР. – Т. 42 (1954). – С. 3–375.
- [47] Вейль Г. *О философии математики* / пер. с нем. А. П. Юшкевича. – М.; Л. : ГТТИ, 1934. – 128 с..
- [48] Гейтинг А. *Интуиционизм*. – М. : Мир, 1965. (Пер. с англ.: *Heyting A. Intuitionism. An Introduction*. – Amsterdam : North-Holland Publishing Co., 1965.)
- [49] Ловягин Ю. Н. *Исчисление бесконечно малых Г. В. Лейбница в современном изложении, или Введение в нестандартный анализ А. Робинсона*. – Сыктывкар : Изд-во Сыкт. лесн. ин-та, 2001. – 163 с.
- [50] Davis M. *Emil L. Post: His Life and Work* // *Solvability, Provability, Definability. The Collected Works of Emil Post* (Ed. Davis M.) – Birkhäuser, 1994. – P. xi–xxviii.
- [51] Dawson J. *Logical dilemmas: The life and work of Kurt Gödel*. – Wellesley MA : AK Peters, 1997.
- [52] Britton J. L., Ince D. C. and Sanuders P. T. (eds). *Collected works of A. M. Turing*. – Amsterdam : North-Holland, 1992. – Vol. 1–3.
- [53] Turing S. *Alan M. Turing*. – Cambridge : Cambridge Univ. Press, 1959.
- [54] Aspray W. *John von Neumann and the Origins of Modern Computing*. – Cambridge (Mass.) : MIT Press, 1990.

[55] Нагорный Н. М. *Андрей Андреевич Марков и его конструктивное направление в математике* // А. А. Марков. Избранные труды / сост. Н. М. Нагорный. – М. : Изд-во МЦНМО, 2002. – Т. 1. – С. V–XLVIII.

[56] Kleene S. K. *General recursive function of natural numbers* // Math. Ann. – Bd. 2. 112 (1936). – P. 727–742.

[57] Клини С. *Введение в метаматематику*. – М. : ИЛ, 1957. (Пер. с англ.: Kleene S. K. *Introduction to Metamathematics*. – Amsterdam : D. Van Nostrand, 1952).

[58] O'Connor J. J., Robertson E. F. *Stephen Cole Kleene. MacTutor History of Mathematics archive*. – St. Andrews (Scotland) : University of St. Andrews, 1997.

[59] Ackermann W. *Philosophische Bemerkungen zur mathematischen Logik und zur mathematischen Grundlagenforschung*. – Ratio, Band 1, 1957.

[60] Péter R. *Rekursive Funktionen in der Computer Theorie*. – Budapest, 1976.

[61] Володин И. А., Кузнецов В. Е., Фоменко А. Т. *О проблеме алгоритмического распознавания стандартной трехмерной сферы* // УМН. – Т. 29. – № 5 (1974). – С. 71–168.

[62] Марков А. А. *О конструктивной математике* // Труды МИАН СССР. – Т. 67 (1962). – С. 8–14. (или Марков А. А. Избранные труды. – М. : Изд-во МЦНМО, 2008. – Т. 2. – С. 194–200).

[63] Цейтин Г. С. *Алгоритмические операторы в конструктивных метрических пространствах* // Труды МИАН СССР. – Т. 67 (1962). – С. 295–361.

[64] Новиков П. С. *Об алгоритмической неразрешимости проблемы тождества* // Доклады АН СССР. – Т. 85. – № 4 (1952). – С. 709–712.

[65] Новиков П. С., Адян С. И. *О бесконечных периодических группах. I, II, III* // Изв. АН СССР. – Сер. матем. – 32:1 (1968). – С. 212–244; 32:2 (1968). – С. 251–524; 32:3 (1968). – С. 709–731.

- [66] Маслов С. Ю. *Представление перечислимых множеств локальными исчислениями* // Труды МИАН СССР. – 93 (1967). – С. 43–49.
- [67] Tarski A. *A decision method for elementary algebra and geometry*. – Santa Monika (CA) : RAND Corp., 1948.
- [68] Davis M. *Arithmetical problems and recursively enumerable predicates* // Journal of Symbolic Logic. – 18 №1 (1953). – P. 33–41.
- [69] Davis M., Putnam H., Robinson J. *The decision problem for exponential Diophantine equations* // Annals of Mathem. – Vol. 74. – № 3 (1961). – P. 425–436. (Русск. перев.: сб. «Математика». – Т. 8. – № 5 (1964). – С. 69–79).
- [70] Матиясевич Ю. В. *Диофантовость перечислимых множеств* // Доклады АН СССР. – Т. 191. – № 2. – 1970. – С. 279–282.
- [71] Матиясевич Ю. В. *Десятая проблема Гильберта*. – М. : Наука: Физматлит, 1993. – 223 с.
- [72] de Gaynesford M. *Hilary Putnam*. – Kingston (Ontario) : Mc Gill – Queens Univ. Press., 2006.
- [73] Feferman S. *Julia Bowman Robinson, 1919–1985*. – Biographical Memoirs, 63 – Washington, DC : National Academy of Sciences, 1994. – P. 425–479.
- [74] Мальцев А. И. *Алгебраические системы*. – М. : Наука, 1970. – 391 с.
- [75] Одинец В. П., Шлензак В. А. *Избранные главы теории графов* / пер. с польск. В. П. Одица при участии М. В. Поспелова. – М.; Ижевск : Регулярная и хаотическая динамика, 2009. – 504 с.
- [76] Курош А. Г. *Анатолий Иванович Мальцев (к пятидесятилетию со дня рождения)* // УМН. – Т. 14. – № 6 (1959). – С. 203–211.
- [77] Mints G. *An exception from a foreword to the English edition of the book: «Voprosy Kibernetiki»*. – No 131. (1987) // Amer. Math. Soc. Transl. – Ser. 2. – Vol. 178. – Providence (RI) : AMS, 1997.
- [78] Вершик А. М. *Потайной дайджест времен застоя* // Звезда. 1991. – № 1. – С. 165–170.
- [79] Морозова Е. А., Петраков И. С. *Международные математические олимпиады*. – М. : Просвещение, 1971. – 254 с.

[80] Tarski A. *Sur les ensembles définissables de number reals. I* // *Fundamenta Mathematica*. – Т. 17 (1931). – А. 210–239.

[81] Tarski A. *Der Wahrheitsbegriff in den formalisierten Sprachen* // *Studia Philosophia*. – 1 (1936). – S. 261–405.

[82] Givant S. *Bibliography of Alfred Tarski* // *Journal of Symbolic Logic*. – 51 (1986). – S. 913–941.

[83] Хопкрофт Дж., Мотвани Р., Ульман Д. *Введение в теорию автоматов*. – М. : Вильямс, 2002. – 528 с. (Пер. с англ.: *Introduction to Automate Theory, Languages and Computation*.)

[84] Николенко С. $P = SN ?$ // *Компьютерра*. – 2006. – № 6. – 14 февраля.

[85] Dennis Sh., Lazer C. *Out of Their Minds: The Lives and Discoveries of 15 Great Computer Scientists*. – Berlin–New York : Springer, 1995.

[86] Hilts P. J. *Scientific Temperaments: Three Lives in Contemporary Science. Legenthy profiles of John Mc Carthy, physicist Robert R. Wilson and geneticist Mark Ptashne*. – Simon and Schuster, 1982.

[87] Mc Carthy J., Hayes P. J. *Some philosophical problem from the standpoint of artificial intelligence* // *Machine Intelligence*. – 4 (1969). – Edinburg : Edinburg University Press. – P. 463 – 502.

[88] Griffiths P., Spencer D., Whitehead G. *Solomon Lefschetz. A Biographical Memoir*. – Washigton D.C. : National Academy of Scieeces, 1992. – P. 271–313.

[89] Лорьер Ж.-Л. *Системы искусственного интеллекта* / пер. с франц. – М. : Мир, 1991. – 568 с.

[90] Peano G. *Arithmetices principia nova methoda exposita*. – Turin : Bocca, 1889.

[91] Grassman H. *Lehrbuch der Arithmetik*. – Berlin : Enslin, 1861.

[92] Tarski A. *The concept of truth in formal languages* // *Stud. Philos. (Warsaw)*. – 1 (1935). – P. 261–405.

[93] Church A. *A note on the Entscheidungsproblem* // *J. Symb. Logic*. – № 1 (1936). – P. 40–41.

- [94] Маслов С. Ю. *Обратный метод установления выводимости в классическом исчислении предикатов* // Доклады АН СССР. – Т. 159. – № 1 (1964). – С. 17–20.
- [95] Братко И. *Алгоритмы искусственного интеллекта на языке PROLOG*. – М. : Вильямс, 2004. – 640 с.
- [96] Horn A. *On sentences which are true of direct unions of algebras* // Journal of Symbolic Logic. – 16 (1951). – P. 14–21.
- [97] Уинстон П. *Искусственный интеллект. Artificial Intelligence*. – М. : Мир, 1980. – 520 с.
- [98] Смолин Д. В. *Введение в искусственный интеллект : конспект лекций*. – М. : Физматлит, 2004. – 208 с.
- [99] Minskiy M., Papert S. *Perceptrons*. – Cambridge, MA : MIT Press, 1969.
- [100] Minskiy M., Papert S. *Artificial Intelligence*. – Eugen: Univ. of Oregon Press, 1972.
- [101] Розенблатт Ф. *Принципы нейродинамики. Перцептроны и теория механизмов мозга* / пер. с англ. – М. : Мир, 1965. – 480 с.
- [102] Henderson H. *A to Z of Computer Scientists*. – New York : Facts on File, 2003. – 208 p.
- [103] Гаврилова Т. А., Хорошевский В. Ф. *Базы знаний интеллектуальных систем : учебник*. – СПб. : Питер, 2000.
- [104] *Экспертные системы. Принципы работы и примеры* / под ред. Р. Форсайта; пер. с англ. – М. : Радио и связь, 1987. – 223 с.
- [105] Wiener N., Rosenblueth A., Bigelow J. *Behavior, purpose and teleology* // Philos. Sci. – 10 (1943). – P. 18–24.
- [106] Wiener N. *Cybernetics, or Control and Communication in the Animal and the Machine. (Actuelitês Sci. Ind. No 1053)*. – Paris : Hermann and Cie, 1948. (Переизд.: Cambridge (Mass) : The MIT Press; New York: Wiley).
- [107] Gentzen G. *Die Widerspruchenfreiheit der reinen Zahlentheorie* // Mathem. Annalen. – Bd. 12 (1936). – S. 493–565.
- [108] Menzler-Trott E. *Gentzens Problem: Mathematische Logik in nationalsozialistischen Deutschland*. – Berlin : Birkhauser Verlag, 2001.

[109] Urquhart A. *Emil Post* // Handbook of the History of Logic. – Vol. 5. (Logic from Russell to Church.) – P. 429–478.

[110] Post E. L. *Introduction to a general theory of elementary propositions* // American Journal of Math. – 43 (1921). – P. 163–185.

[111] Горлицкая С. И., Кузнецова И. Н., Литвин Ф. Д. *Образовательные среды LOGO и LEGO* // Компьютерные инструменты в образовании. – СПб. : Изд-во ЦПО «Информатизация образования». – 1999. – № 5. – С. 65–70.

[112] Rosenblatt F. *The PERCEPTRON: a Perceiving and Recognizing Automaten*. – New York : Cornell Aeronautical Lab, 1957.

[113] McCulloch W., Pitts W. *A logical calculus of ideas imminent in nervous activity* // Bull. of Mathematical Biophysics. – 5 (1943). – P. 115–133.

[114] Shannon C. *Programming a Computer for Playing Chess* // Philosophical Magazine. – Ser. 7. – Vol. 41. – № 314 (1950).

[115] Ботвинник М. М. *Алгоритм игры в шахматы*. – М. : Наука, 1968.

[116] Bernstein A., Roberts M. *Computer vs Chess-Player* // Scientific American. – Vol. 198 (1958). – P. 96–105.

[117] Feigenbaum E. *On generality and problem solving*. – Machine Intelligence. – 1971. – 6.

[118] Chrościcki J. A., Odinec V. P. (= Odyniec W. P.). *On Direct Graph Models of Influences in Art Theory* // Artibus et Historiae. – Venezia – Wien : IRSA-LICOSA. – 1980. – № 3. – P. 113–130.

[119] Odyniec W. P. *The first expert system for painting ascription and dating: to the history of creation* // L'Europe moderne-nouveau monde, nouvelle civilization. – Warszawa : Arx Regia, 2009. – P. 216–217.

[120] Rosenblueth A. *Mind and Brain: A Philosophy of Science*. – Cambridge, MA : MIT Press, 1970.

[121] Hawkins D., Simon H. A. *Some Conditions of Macroeconomic Stability* // Econometrica. – 1949. – XVII. – P. 245–248.

[122] Simon H. A. *Models of My Life*. – New York : Basic Books, Sloan Foundation Series, 1991. – 415 p.

- [123] Шеннон К. *Работы по теории информации и кибернетике*. – М. : Изд-во иностр. лит., 1963. – 830 с.
- [124] Шестаков В. И. *Алгебра двухполюсных схем, построенных исключительно из двухполюсников (алгебра А-схем)* // Автоматика и телемеханика. – 1941. – № 2. – С. 15–24.
- [125] Шестаков В. И. *Алгебра двухполюсных схем, построенных исключительно из двухполюсников (алгебра А-схем)* // Журнал технической физики. – 1941. – Т. 11. – № 6. – С. 532–549.
- [126] Shannon C. E. *A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits (MSThesis)* // Massachusetts Institute of Technology, Dept of Electrical Engineering (Aug. 10, 1937). Published in Transaction of the Amer. Inst. of Electrical Engineers. – Vol. 57 (1938). – P. 713–723.
- [127] Shannon C. E. *A Mathematical Theory of Communication* // Bell System Technical Journal. – Vol. 27 (1948). – P. 379–423; 623–656.
- [128] Shannon C. E. *Communication Theory of Secrecy Systems* – Bell System Technical Journal. – 1949. – Vol. 28. – P. 657–724.
- [129] Bowker R. R. *Papert Seymour A.* // American Men and Women of Science. – 1998/99. – P. 1056.
- [130] Feigenbaum E. A., Buchanan B. G. and Lederberg J. *On generality and problem solving: a case using the DENDRAL program in Machine Intelligence, 6.* – Edinburg : Edinburg University Press, 1971. – P. 165–190.
- [131] Naylor C. *Build Your Own Expert System.* – Chichester : Sigma Technical Press (John Wiley), 1983.
- [132] Forsyth R. *BEAGLE: a Darwinian approach to pattern recognition* // Kybernetes. – 10. – Nr. 3 (1981). – P. 159–166.
- [133] Маслов С. Ю. *Обратный метод установления выводимости для логических исчислений* // Труды МИАН СССР. – Т. 98 (1968). – С. 26–87.
- [134] Кнут Д. Э. *Искусство программирования.* – М. : Вильямс, 2000. – Т. 1. Основные алгоритмы. – 692 с.
- [135] Кнут Д. Э. *Искусство программирования.* – М. : Вильямс, 2003. – Т. 2. Получисленные алгоритмы.

[136] Кнут Д. Э. *Искусство программирования*. – М. : Вильямс, 2007. – Т. 3. Сортировка и поиск. – 824 с.

[137] Кнут Д. Э. *Искусство программирования*. – М. : Вильямс, 2008. – Т. 4. Вып. 2. Генерация всех кортежей и перестановок. – 570 с.

[138] Lenat D. *Eurisko: a program that learns new heuristics and domain concepts* // *Artificial Intelligence*. – 21 (1983). – P. 61–98.

[139] Романовский И. В. *Дискретный анализ*. – 3-е изд. – СПб. : Невский Диалект : БХВ–Петербург, 2004. – 320 с.

[140] Старобогатов Р. О., Румянцева Е. И. *Квантовые компьютеры* // *Информационные системы и технологии*. – № 1 (2). – СПб. : Парк Ком, 2010. – С. 110–115.

[141] Юсупов Р. М. *Информатизация как мощный фактор интеграции науки и образования* // *Мировые модели взаимодействия науки и высшего образования* / *Материалы Межд. научн. конф.* 1–3 июля 1996 г. – СПб. : Изд-во СПбГТУ, 1997. – С. 91–98.

[142] Малиновский Б. Н. *Цифровые управляющие машины и автоматизация производства*. – М. : Машгиз, 1963. – 288 с.

[143] Одинец В. П. *Возвращаясь к Куммеру* // *Вестник Сыктывкарского ун-та*. – 2012. – Сер. 1. – Вып. 15. – С. 147–149.

ЧАСТЬ II

Глава IV. История языков программирования

§ 15. Алгоритмические языки. Первые два поколения языков программирования¹

Начнем этот параграф с утверждения, что естественные языки, включая русский и английский, неоднозначны и противоречивы (см. [5]). Для доказательства достаточно напомнить, так называемый, парадокс французского математика Жюля Ришара² в форме Д. Берри³, содержащийся в фразе: «[Указать] наименьшее

¹ В главе IV не рассматриваются языки:

Бейсик (от англ. **BASIC** – **B**eginner’s **A**ll-purpose **S**ymbolic **I**nstruction **C**ode) – высокоуровневый язык, созданный в 1963 г. Томасом Курцем для обучения начинающих (Tomas Eugene Kurtz: 1928) и Джоном Кемени (John Georg Kemeny: 1926–1992) (см. [2, гл. II]);

PL/1 – первоначально (1964) названный сотрудниками фирмы IBM и ассоциацией пользователей машин фирмы IBM, как **NPL** (New Programming Language), но учитывая, что в Великобритании эта аббревиатура означает National Physics Laboratory, переименованный на PL/1 (см. [2, гл. IV]);

LOGO – язык высокого уровня, созданный в 1967 г. Сеймуром Пейпертом и Идит Харель Капертон (Idit Harel Caperton: 1958) для обучения детей дошкольного и младшего школьного возраста (см. [3]).

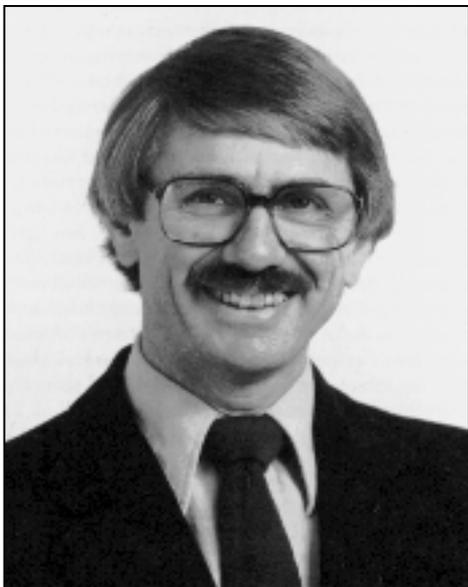
Не будет рассматриваться история языков, которые находятся «между» компилируемыми и интерпретируемыми, а также история ряда классов языков программирования (стековых, аспектно-ориентированных, прототипных, скриптовых, эзотерических и учебных). В то же время в Части III будет описана история ряда языков, в частности **РЕФАЛ** (его создателем является советский и американский физик и кибернетик Валентин Фёдорович Турчин (1931–2010) (см. [4]), родившийся в Подольске и умерший в Нью-Йорке, выпускник физического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова (1953), доктор физ.-мат. наук (подробнее см. § 27)). В конце Главы IX будет дана подробная история языка PostScript.

² Ж. Ришар (Jules Antuan Richard: 1862–1956) описал свой парадокс в 1905 г. в работе: *Les principes des mathématiques et le problem des ensembles // Revue générale des sciences pures et appliqués.* – Vol. 16. – P. 541–543.

³ Д. Берри (G. G. Berry: 1867–1928) – библиотекарь Оксфордского университета.

из натуральных чисел, которое нельзя назвать на русском языке с помощью менее 20 слов»¹, приведенной в переводе на русский язык в 1957 г. классической работы «Введение в метаматематику» Стивена Клини (1909–1994) [6, с. 41]. Тем не менее естественные языки содержат подязыки, фразы которых однозначны и не зависят ни от каких внешних для данного языка условий. Например, такими подязыками (их называют *формальными*) служат системы счисления.

Для описания формального языка нужен другой язык. Его на-



Томас Куртц

зывают *языком-объектом*. Язык, применяемый для описания языка-объекта, называют *метаязыком*. Напомним, что систему правил, определяющих структуру предложений (т. е. завершенных конструкций естественного языка) языка-объекта, называют его *синтаксисом*², а соответствие между предложениями языка-объекта и их значениями – *семантикой*.

С 1958 г. одним (из двух основных³) способов построения метасинтаксических языков является способ¹,

¹ Эта фраза, задающая объект на русском языке, содержит 16 слов (т. е. меньше 20). Впервые же фраза: «the smallest possible integer not definable by a given number of words» была описана Берtrandом Расселом (Bertrand Arthur Russell: 1872–1970), и именно он приписал ее Д. Берри [5].

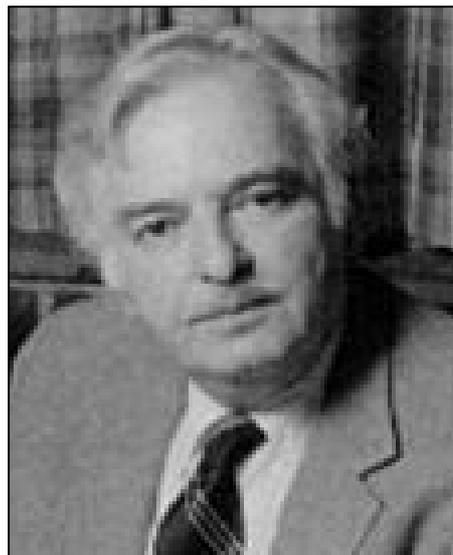
² Современные теории, посвященные проблемам синтаксиса формальных языков, восходят к двум классическим работам Ноама Хомского (Noam Chomsky: 1928): «Syntactic Structures», 1957 г. [7], и «Aspects of the Theory of Syntax», 1965 г. [8], в которых изучаются иерархия формальных языков и порождающие грамматики (см. также: «Метаязык науки»: материалы Международной научной конференции; гл. ред. С. В. Лесников. Сыктывкар: СыктГУ, 2012. 900 с.).

³ Второй способ построения метасинтаксического языка, основанный на двухуровневой грамматике, был предложен голландским математиком А. ван

предложенный американским информатиком Джоном Бэкусом (John Warner Backus: 1924–2007), названный нормальной нотацией Бэкуса и восходящий к работе индийского ученого VI в. Панини (Pāṇini) по созданию грамматики санскрита.

Множество конструкций языка-объекта, находящихся в правых частях формул (Бэкуса), называют базой языка-объекта, а сами эти конструкции – **морфемами** данного языка.

Напомним также, что если t – некоторый алгоритм (подробнее см. [9], гл. II) над языком L , то все его результаты принадлежат некоторому языку \bar{A} . При этом существует такой язык \check{A} , содержащий результаты алгоритма t , который, кроме этих результатов, не содержит никаких других конструкций, т. е. является t -алгоритмически² минимальным подязыком в \bar{A} . Язык \check{A} будет формальным языком. Примером такого языка является, в частности, совокупность всевозможных программ, которые мыслимы для данной вычислительной машины.



Джон Кемени



Идит Харель

Вийнгаарденом (Adriaan van Wijngaarden: 1916–1987) при работе над созданием языков ALGOL и ALGOL 68. Он получил название W-грамматики.

¹ При этом построении метасинтаксический язык состоит из конечного числа предложений, называемых формулами (Бэкуса). В этих формулах используются два универсальных метасимвола: $::=$ и $|$, при этом первый символ читают: *по определению есть*, а второй – *или*.

² Напомним, что, если алгоритм задан на языке L_1 над языком L_2 , то язык L_1 называют **алгоритмическим** языком, а L_2 – языком **исходных данных** [9].

Как известно (см., например, [9, с. 134]), **языками программирования** называют знаковые системы, используемые для описания процессов решения задач на ЭВМ. Традиционно языки программирования делятся на три группы: 1) формальные алгоритмические языки; 2) формальные неалгоритмические языки¹ и 3) неформализованные (полностью) знаковые системы, применяемые при программировании (например, блок-схемы).

В группе формальных алгоритмических языков выделим (в этом параграфе) алгоритмические языки машин и операционных систем, а также машинно ориентированные алгоритмические языки.

В 1842 г. Ада Лавлейс (Ada Lovelace (Byron): 1815–1852), ра-



ботая над переводом на английский язык статьи профессора Л. Менабреа (Luigi Menabrea: 1809–1896) об аналитической машине Чарльза Бэббиджа (Charles Babbage: 1791–1871), создает первые программы, которые использовались с помощью установленных на передней панели аналитической машины ключевых переключателей².

Ада Лавлейс

¹ К этой группе относятся языки, в которых дается метод решения задачи без точного указания последовательности действий, которые должны при этом выполняться. Примером является язык параметрически заданных схем. Этот язык является частным случаем **языка логических схем** (ЯЛС), созданных в 50-е гг. XX в. в СССР для описания дискретных процессов различной природы. В 1953 г. Алексей Андреевич Ляпунов (1911–1973) ввел понятия оператора схемы счета и схемы программы (публикация 1956 г. [10]). Через 2 года Ю. И. Янов, при изучении схем алгоритмов, формализовал понятие ЯЛС (публикация 1958 г. [11]). Семантику этого языка получил в 1959 г. Николай Андреевич Криницкий (подробнее см. [12]). В 1962 г. завершение изучения ЯЛС было дано в работе А. А. Ляпунова [13].

² Подробнее о задачах, решавшихся на машине Ч. Бэббиджа с помощью программ А. Лавлейс, см.: [1, с. 22].

В аналитической машине считывание переменных и операций осуществлялось с помощью перфокарт [1, с. 21–22]. Через 100 лет перфокарты были дополнены перфолентами, и появился машинный язык, с помощью которого можно было задавать команды, обращаясь к ячейкам памяти. Напомним, что *машинный язык* представляет собой свод правил кодирования действий, определенных в числовом виде (в основном арифметических действий)¹.

Основной морфемой машинного алгоритмического языка является:

$$\langle \text{код операции} \rangle ::= \underbrace{\langle \text{буква} \rangle \dots \langle \text{буква} \rangle}_{n \text{ букв}}$$

Кроме того, бывают морфемы $\langle \text{адрес} \rangle$, $\langle \text{индекс} \rangle$ и другие.

Из этих морфем, которые будут словами в двухбуквенном алфавите, при их расположении в определенном порядке образуется слово, называемое $\langle \text{команда} \rangle$.

Машинный язык или машинный код традиционно относят к первому поколению языков программирования.

Составление программы на машинном языке было сложной комбинаторной задачей, так как одновременно с составлением команд программист распределял и память. Эти трудности достаточно наглядно проиллюстрированы на примере программирования на вычислительной машине «ALWAC III-E» в книге М. Клейна, Г. Моргана и М. Аронсона, вышедшей в США в 1958 г. (русский перевод 1960 г.) [14].

¹ Кодами называются формальные языки, для которых метаязык, являющийся тоже формальным, состоит из двух подязыков, первый из которых состоит из множества осмысленных предложений той области, которая нас интересует, а второй содержит описания двух правил, называемых, соответственно, правилом кодирования и правилом декодирования [9].

Примерно в это же время удалось разделить распределение памяти и составление команд за счет введения символических адресов.

Заметим, что на практике составление программ вручную на машинном языке давно не применяется. Реально оно используется только при создании новых операционных систем, и то только на этапе предварительной разработки.

Как уже говорилось выше, следующими после машинных языков, являются *машинно ориентированные языки*. Они уже содержат, во-первых, те технические средства, с помощью которых должны выполняться те или иные части записанного алгоритма, а во-вторых, в них указано то, как используются запоминающие устройства.

При этом с заменой числовых значений, выражающих код операции, на буквенные (или символьные) обозначения появился язык, названный языком символического программирования, или *языком ассемблера* (в СССР его называли *автокодом*¹).

Отметим, что в этом языке трансляция программы в исполняемый машинный код производится программой-транслятором, тоже называемой ассемблером (англ. *assembler* – сборщик), по которой и назван язык. Важно, что язык ассемблера употребляется для конкретной вычислительной системы. Он позволяет пользоваться алфавитными мнемоническими кодами операций, присваивать символические имена регистрам вычислительной машины, задавать разные схемы адресации, различные системы счисления для представления числовых констант, а также некоторые другие возможности.

Каждое семейство процессоров имеет свою систему команд и соответствующий ей язык ассемблера. При этом язык ассемблера

¹ В настоящее время автокодом называют язык программирования, предложения которого по своей структуре, как правило, подобны командам и обрабатываемым данным конкретного машинного языка.

позволяет писать самый эффективный (т. е. самый быстрый и компактный) код, который возможен для данного процессора [15–17].

В 1954 г. в отделе ИМ АН СССР, которым руководил А. А. Ляпунов, на основе разработанного им операторного метода в программировании, была создана программа ПП-1, являющаяся *первым в мире транслятором* с некоторого универсального алгоритмического языка на язык машины.



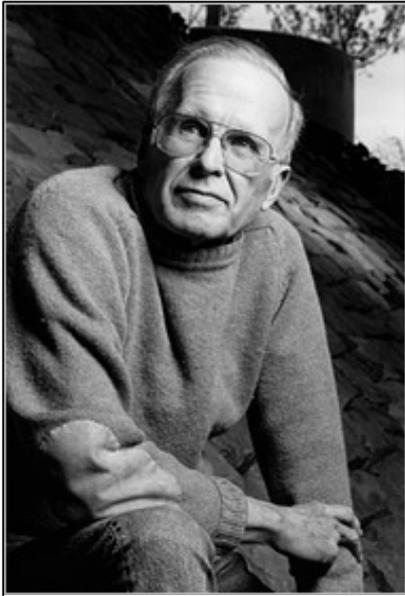
А. А. Ляпунов

В настоящее время наиболее распространенными синтаксисами языков ассемблера являются Intel-синтаксис и AT&T-синтаксис.

На языке ассемблера до сих пор производится создание операционных систем, драйверов, антивирусов и других защитных программ (подробнее см. [16; 17]). Неслучайно поэтому язык ассемблера относят ко второму поколению языков программирования¹.

Джон Бэкус родился в Филадельфии (США) в 1924 г. Первоначально, по окончании средней школы в Пенсильвании, Джон собирался изучать химию в университете в Вирджинии. Однако, вскоре после поступления, он был призван в армию (шла II Мировая война) и направлен на учебу в Хаверфордский медицинский колледж. Там у него диагностировали опухоль черепной кости и после удачной операции в череп ему была вставлена

¹ Существуют компьютеры, у которых в качестве машинного языка используется язык программирования высокого уровня (например, Лисп, Форт). Тем самым эти языки в компьютере выполняют роль языков ассемблера.



Джон Бэкус

пластина. Жизненные планы пришлось резко поменять. Работая на «гражданке» радиотехником, Джон начинает серьезно заниматься математикой. Поступив в Колумбийский университет, он уже в 1949 г. получает степень магистра математики, а в 1950 г. связывает свою судьбу с фирмой IBM.

В 1953 г. Д. Бэкус разрабатывает первый высокоуровневый язык Speedcoding для компьютеров фирмы IBM. В 1954 г. в составе группы участвует в создании языка Fortran для IBM704 [18]. Позже Д. Бэкус в составе международного комитета работает над созданием языков Алгол-58 и Алгол-60, для которых создает нотацию, названную нотацией Бэкуса (Backus-Naur Form, сокращенно BNF). За этот результат он был награжден (1977) премией им. Тьюринга. В последующие годы (до 1991 г.) занимается уровнем функциями программирования (function-level programming). Д. Бэкус был также включен в список 32 выдающихся ученых, которые заслужили высшую награду компьютерного сообщества¹, но поскольку уже имели другие награды этого сообщества, то удостоены грамоты «Computer Pioneer Charter Recipients» [19].

Адриаан ван Вийнгаарден родился в 1916 г. в Роттердаме. В 1939 г., по окончании учебы в Технологическом Университете в Дельфте, получает звание инженера-механика. Он собирается работать над докторской диссертацией по гидродинамике, но в эти планы вторгается война. После войны А. ван Вийнгаардена привлекает идея автоматизации расчетов, и с начала 1947 г. он

¹ Медаль «Computer Pioneer» (см. след. сноску на с. 15).

становится во главе Вычислительного отдела только что созданного Математического Центра (МС) в Амстердаме. В 50-е гг. XX столетия он занимается языками программирования, входя в число создателей языков ALGOL и ALGOL-68, для которых он разрабатывает двухуровневый тип грамматики, названной W-грамматикой [20].



Адриаан Вийнгаарден

В 1961 г. он становится во главе МС и работает на этом посту до 1981 г.

Не случайно А. ван Вийнгаардена называют «отцом» голландской информатики. Умер А. ван Вийнгаарден в 1987 г. в Амстердаме [21].

Алексей Андреевич Ляпунов родился в 1911 г. в Москве (академик-математик Александр Михайлович Ляпунов (1867–1918) был двоюродным братом деда А. А. Ляпунова – Николая Васильевича Ляпунова). Формально высшего образования А. А. Ляпунов не получил – на физико-математическом факультете МГУ им. М. И. Ломоносова он проучился только один год, а затем, в 1929 г., ушел из университета, как он сам говорил впоследствии, «из-за удушающей коммунистической атмосферы». Сблизившись в 1931 г. с академиком Н. Н. Лузиным (1883–1950), травля которого началась уже тогда, он под его руководством не только получает прекрасное математическое образование, но и новые результаты в дескриптивной теории множеств.

С 1934 г. до начала 50-х гг. (с перерывами) А. А. Ляпунов работает в Математическом институте им. В. А. Стеклова (МИ). Во время Великой Отечественной войны А. А. Ляпунов служит артиллеристом. Среди наград, полученных им на фронте, есть и орден Красной Звезды.

С 1953 г., по инициативе М. В. Келдыша, А. А. Ляпунов возглавил в Отделении прикладной математики МИ работы по программированию.

11 октября 1955 г. в Президиум ЦК КПСС поступило письмо большой группы советских ученых¹, содержавшее оценку состояния биологии в СССР и критику взглядов и действий Т. Д. Лысенко, организовавшего при И. Сталине разгром генетики.

В числе подписавших это письмо (или, как тогда говорили, «подписантов») был и А. А. Ляпунов [22].

Противостояние интеллигенции и власти, конечно, отражалось на творчестве А. А. Ляпунова, но именно в эти годы им получены ценнейшие результаты в кибернетике, программировании (в частности, построена теория ЯЛС [13]) и в теории функций вещественного переменного. Воспользовавшись созданием Сибирского отделения (СО) АН СССР, он в 1961 г. переезжает в Новосибирск, и фактически создает в Институте математики СО отделение кибернетики.

В 1964 г. А. А. Ляпунов был избран членом-корреспондентом Академии Наук СССР по отделению математики. Умер А. А. Ляпунов в 1973 г. В 1996 г. (посмертно) он был награжден самой престижной наградой Компьютерного сообщества (IEEE Computer Society) – медалью «Computer Pioneer»² за «разработку теории операторных методов для абстрактного программирования, творцу советской кибернетики и программирования».

¹ Письмо «трехсот».

² Медаль была учреждена в 1981 г. Вручается за выдающиеся достижения в компьютерных науках, полученные более 15 лет назад от даты вручения. На аверсе медали выполнен барельеф Ч. Бэббиджа, а на реверсе – формула награждения.

§ 16. Языки высокого уровня и языки структурного программирования

В период с 1954 по 1957 г. в США в корпорации IBM под руководством Джона Бэкуса был создан язык высокого уровня (с транслятором) ФОРТРАН (сокр. от англ. FORmula TRANslator = FORTRAN), имитирующий естественный язык, который был задуман для использования в научных и инженерных целях¹. Многие десятилетия считалось, что это был первый язык высокого уровня, позволявший достаточно легко писать большие программы и решать задачи с разветвленной логикой [2].

Однако оказалось, что еще в 1945 г. для своей еще незаконченной машины Z4 немецкий ученый и инженер Конрад Цузе (Konrad Ernst Otto Zuse: 1910–1995) успел разработать первый в мире высокоуровневый язык программирования Plankalkül [1, с. 31]. Этот язык поддерживал не только операции назначения и вызов подпрограмм, но и итерационные циклы, условные операторы, массивы, обработку исключений. Представление чисел было с плавающей запятой. Частично результаты работы над этим языком были опубликованы К. Цузе² в 1948–1949 гг. [23]. Но тогда мало кто обратил внимание на эту работу. Полностью описание языка и его возможностей было дано в брошюре 1972 г. [24], когда пути развития программирования уже определились.



Конрад Цузе

¹ Напомним, что алгоритмический язык ФОРТРАН относится к числу операторных языков. Алгоритмы задаются с помощью операторов. Первичными структурами в Фортране являются числа, идентификаторы и строки.

² О биографии К. Цузе см. [1, с. 30–32].

При жизни самого К. Цузе не было создано реализации для языка Plankalkül. Но в 2000 г. во Freie Universität (Берлин) был создан первый компилятор языка Plankalkül для современных компьютеров.

Возвращаясь к Фортрану, заметим, что этот язык эволюционировал, но новые стандарты языка (FORTRAN 95, FORTRAN 2003) сохраняют преемственность с более старыми, что дает возможность использовать коды ранее написанных программ. В то же время стандартом языка FORTRAN 2008 уже достигается поддержка средствами языка параллельных вычислений.

Первый советский компилятор с Фортрана был создан к 1967 г. для модификации машины Минск-2¹.

В 1968 г. для машины БЭСМ-6 в Объединенном институте ядерных исследований в Дубне был создан компилятор ФОРТРАН-ДУБНА. В 1970 г. в Институте Прикладной Математики (ИПМ) АН СССР была разработана графическая библиотека ГРАФОР (ГРАфическое расширение ФОРтрана = ГРАФОР). С 1972 г. вся линейка единой системы ЭВМ (ЕС ЭВМ), выпускавшихся в СССР, имела транслятор Фортрана.

В 1965 г. фирма IBM выпустила компьютер IBM 1130. Этот компьютер попал и в Национальную радиоастрономическую лабораторию (National Radio Astronomy Observatory (NRAO)), в которой уже с конца 50-х гг. работал Чарльз Мур (Charles H. Moore: 1938). Именно он, занимаясь разработкой программ сбора и обработки данных, получаемых радиотелескопом, уже в 1968 г. создал первую версию языка FORTH².

¹ Машина «Минск 23». Главный конструктор – Виктор Владимирович Пржицкий (р. 1930).

² Сам Ч. Мур назвал свой язык FOURTH, полагая, что это будет язык для машин 4-го поколения, к которым относилась и IBM 1130. Однако IBM 1130 допускала имена, составленные не более чем из 5 прописных букв, и поэтому название языка было преобразовано в FORTH.

В этом языке программы записываются в виде последовательности лексем (по терминологии этого языка их называют «словами»). Для формул и математических выражений используется постфиксная запись¹. Синтаксис базового уровня состоит из одного правила – «все определения разделяются пробелами».



Чарльз Мур

Язык Форт – уникальный язык: с одной стороны, по многим свойствам он близок к языкам ассемблера, а с другой – его синтаксис и семантику можно расширить до любого другого языка программирования во время компиляции форт-программы.

Окончательная версия языка Форт появилась в 1971 г. и была принята в качестве основного языка Американским астрономическим обществом. Доктор Элизабет Ратер (Elizabeth Rather) из Университета штата Аризона в процессе сотрудничества с NRAO занялась (с 1971 г.) проблемой переписки программ, написанных на языке Форт, на наиболее распространенный язык FORTRAN.

В ходе этой работы ей, в кооперации с Чарльзом Муром, удалось существенно улучшить язык Форт.

В 1973 г. Ч. Мур и Э. Ратер основали компанию FORTH, Inc.² Работа этой компании способствовала тому, что язык Форт был портирован на множество платформ. В частности, он был первым «resident software» на чипе Intel 8086 с 1978 г.

В 1977 г. в рамках Международного Астрономического общества был выработан *гlossарий* языка Форт, обозначаемый как AST.01 [25; 26].

¹ Эту нотацию часто называют «обратной польской нотацией» (revers Polish notation (RPN)).

² Э. Ратер была Президентом компании FORTH, Inc. с 1980 по 2006 г.

К 1994 г. при участии многих стран¹ и фирм был принят ANSI стандарт языка FORTH.

К моменту появления первой версии языка Форт (1968) уже десять лет шло создание языков структурного программирования.

Особенностью структурного программирования является то, что оно позволяет разбивать программу на составляющие элементы (автономные подпрограммы), обеспечивает поддержку рекурсий и локальных переменных.

Первым языком структурного программирования был Алгол (ALGO^rithmic Language = ALGOL). Причиной его появления было осознание потребности создания универсального языка, который, с одной стороны, служил бы для описания алгоритмов в научных публикациях, а с другой – был бы средством реального программирования.

В 1958 г. съехавшиеся на конференцию, проводившуюся на базе Европейского технического университета (Цюрих, Швейцария), ученые разных стран предприняли в течение недели попытку создания такого языка, назвав его Алгол-58. Этот язык был доработан Комитетом под эгидой Международной федерации по обработке информации (IFIP).

Его новый стандарт Алгол-60 обычно именуют просто Алгол. В усовершенствовании этого языка² (и создании стандарта Ал-

¹ С 1988 г. в рамках Ассоциации вычислительной техники (= Association for Computing Machinery (ACM)) была организована группа SIGFORTH для согласования окончательного стандарта языка FORTH. Ее российский аналог возглавлял С. Н. Баранов, опубликовавший (вместе с Н. Р. Ноздруновым) в 1988 г. (тогда еще в Ленинграде) книгу «Язык Форт и его реализация» [25]. В 1990 г. в Москве вышел перевод книги Л. Броуди «Начальный курс программирования на Форте» с предисловием И. В. Романовского [26]. Эти две книги, выпущенные большими тиражами, способствовали знакомству российских математиков, а также всех интересующихся информатикой с языком Форт.

² Подробнее см.: Роберт У. Себеста. *Первый шаг к совершенствованию: язык ALGOL 60* // Основные концепции языков программирования / пер. с англ. – 5-е изд. – М.: Вильямс, 2001. – 672 с.

гол-68) от СССР активное участие принимал Григорий Самуилович Цейтин (р. 1936)¹. Отметим, что наиболее новой и весьма полезной идеей всех стандартов Алгола являлось понятие *процедуры*. В Вычислительных центрах в СССР создавались библиотеки процедур, разумеется, тех, в которых не использовались глобальные переменные и операторы перехода, выходящие за пределы тела процедуры.



Г. С. Цейтин

В работе Комитета по разработке стандарта языка Алгол-68 участвовал швейцарский ученый Никлаус Вирт (Niklaus Emil Wirth: 1934). В 1968–1969 гг. он руководил созданием языка структурного программирования, который мог бы использоваться как в промышленном программировании, так и при обучении программированию в высшей школе. Этот язык был назван Паскаль, в честь французского математика Блеза Паскаля (1623–1662), создателя одной из первых механических вычислительных машин (см. [1, с. 11; 27]).

Язык Паскаль не был первым языком, созданным на основе Алгола. Так, еще в 1966 г. Н. Вирт вместе с Хельмутом Вебером (Helmut Weber: 1947) создали язык Эйлер [28; 29], являвшийся расширением и обобщением языка Алгол-60. Язык Эйлер был более простым и более гибким, чем Алгол-60. Он использовался для микропрограммного обеспечения IBM 360/30².

Позже (в 1978 г.) Н. Виртом на основе языка Паскаль и стандартов Алгол был разработан язык программирования общего на-

¹ Биографию Г. С. Цейтина см. на стр. 100.

² Helmut Weber. *A microprogrammed implementation of EULER on IBM system/360 model 30* // Communications of the ACM. – V. 10. – Issue 9. – Sept. 1967.

значения Модула-2¹. Особенностью этого языка, в частности, была возможность создавать на нем такие системные программы, как обработчики прерываний и драйверы устройств, а также поддерживать программирование параллельно взаимодействующих процессов [30]. В свою очередь, язык Модула-2 повлиял на создание языков Modula-3, Oberon, Ada, Fortran-90, Lua, Zonnon и Modula-GM².

В 1966 г. (когда Н. Вирт и Х. Вебер завершили создание языка Эйлер), в Кембриджском университете (Великобритания) Мартин Ричардс (Martin Richards) разработал язык программирования, предназначенный для написания компиляторов для других языков [31].

Этот язык, названный BCPL (Basic Combined Programming Language), заинтересовал двух сотрудников лаборатории фирмы AT&T Bell Telephone Кена Томпсона (Kenneth Thompson: 1943)



Мартин Ричардс

и Дениса Ритчи (Dennis MacAlistair Ritchie: 1941–2011). На основе этого языка Кен Томпсон (при содействии Д. Ритчи) создает 1969 г. язык «В» = Би. Предполагалось, что этот язык будет использоваться в операционной системе UNIX, разработка которой была также завершена в 1969 г. Однако Д. Ритчи не был удовлетворен языком Би и (при участии К. Томпсона) к 1973 г. разработал стандартизированный процедурный язык

¹ Язык Модула-2 испытал также влияние языка Simula-67 (подробнее см. [30]).

² Популярности языка Паскаль во многом способствовала деятельность публичной компании Borland International, образованной в 1983 г. со штаб-квартирой в г. Остин (штат Техас). В 1992 г. этой фирмой был выпущен пакет программирования, использующий язык Паскаль, Turbo Pascal 7.0. (Позже эта фирма была преобразована в фирму Borland Software Corporation, а в 2009 г. поглощена британской фирмой Micro Focus.)

программирования «С» = Си [32], который и используется с тех пор в операционной системе UNIX¹. Позже язык Си был перенесен на многие другие операционные системы [33]. Этот язык широко применяется для создания как прикладных программ, так и системного программного обеспечения.

Никлаус Вирт родился в 1934 г. в предместье Цюриха (Швейцария) в семье школьного учителя. С детства Н. Вирт увлекался электроникой и конструированием. В 1954 г. поступил на факультет электроники

Технического института (ETH)² в Цюрихе. По получении степени бакалавра электротехники (1958) продолжил обучение в Лавальском университете (Université Laval) штата Квебек в Канаде.

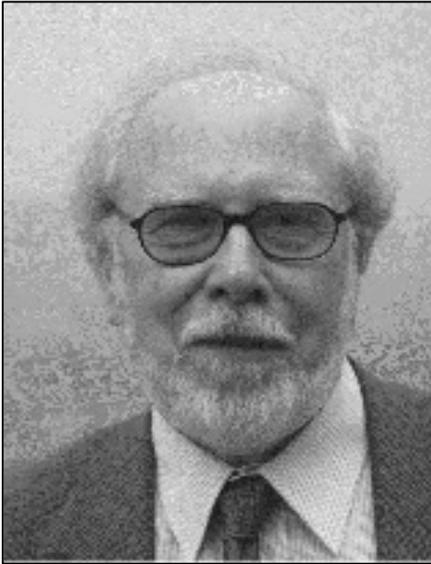
По результатам магистерской диссертации (1960) Н. Вирт был приглашен в университет в Беркли (Калифорния) к одному из пионеров компьютерных наук профессору Гарри Хаски (Harry Huskey: 1916), начинавшему работать над ENIAC еще в 1945 г. в Пенсильванском университете. Под руководством Г. Хаски Никлаус Вирт начал работу над созданием языка Эйлер на основе Алгола-60 средствами языка Лисп. После успешной защиты диссертации (1963) Н. Вирт был приглашен в Комитет по стандартизации Алгола и разработке стандарта Алгол-68. Одновременно, став (1963) ассистентом Стенфордского университета, Н. Вирт разработал (вместе с Д. Уэльсом³) в 1963–1967 гг. для программирования на платформе IBM/360 язык PL/360.

Возвратившись в ETH в Цюрих (1967), Н. Вирт работает там вплоть до выхода на пенсию в 1999 г.

¹ Подробнее об этой системе см.: [34].

² ETH = Eidgenössische Technische Hochschule in Zürich.

³ Не путать с Джимми Уэйлсом (Jimmy Donald Wales: 1966) – основателем Википедии.



Никлаус Вирт

К 1970 г. относится создание Н. Виртом языка Паскаль, а к 1975 г. – языка Модула, в котором была реализована идея создания модульных программ и параллельного программирования.

Одновременно в эти же годы Н. Вирт разрабатывает технологию структурного программирования. Для министерства обороны США в 70-е гг. Н. Вирт участвует в разработке языка для программирования встроенных систем, названном «Ада», в честь Ады Лавлейс.

К 1980 г. под руководством Н. Вирта была разработана система Lilith для персонального 16-ти разрядного компьютера, которая на десятилетие обогнала одну из основных тенденций компьютерной индустрии [33].

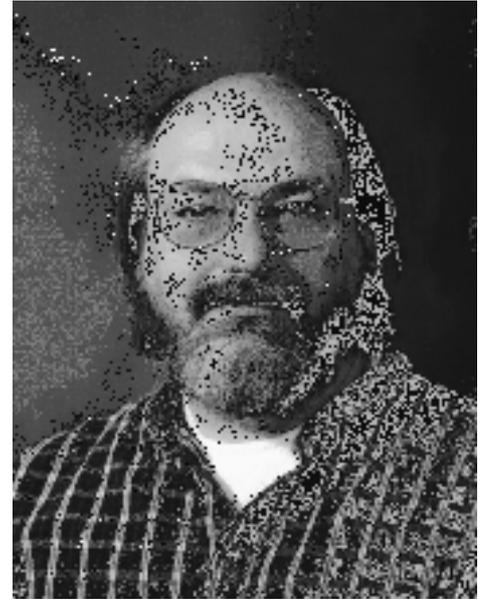
В 1988 г. вместе с Ю. Гуткнехтом (Jürg Gutknecht: 1949), тогда еще Assistant Professor компьютерных наук в ETH, Н. Вирт разработал язык Оберон – упрощенную версию Модулы-2, но дополненную новыми возможностями [34].

В 1996 г. Н. Вирт разработал оригинальный язык Lola, для обучения и симуляции цифровых электрических схем [35].

За свои достижения Н. Вирт получил много премий и наград. Выделим только премию АСМ 1984 (премию им. Тьюринга) и присуждение ему в 2007 г. Российской Академией Наук ученой степени доктора honoris causa.

Кен Томпсон родился в 1943 г. в г. Новый Орлеан (США). Учился в Калифорнийском университете в Беркли, специализируясь в области электротехники и информатики. В 1965 г. он получил в этой области степень бакалавра, а год спустя – магистра наук.

В лаборатории фирмы AT&T Bell (сокращенно Bell Labs) начинается многолетнее творческое сотрудничество Кена Томпсона с пришедшим в эту лабораторию в 1967 г. Деннисом Ритчи. В 1969 г. они оба стали творцами операционной системы UNIX [36]. Тогда же для этой системы К. Томпсон создает язык программирования Би¹, явившийся предшественником языка Си Денниса Ритчи. Позже К. Томпсон вместе с Джозефом Кондоном (Joseph Condon) создали аппаратное и программное обеспечение для шахматного компьютера Bell ([38], см. также [1, с. 148–150]).



Кен Томпсон

В 2000 г. К. Томпсон ушел из Bell Labs и до 2006 г. работал в корпорации Entrisphere, Inc. Последние годы К. Томпсон работает в корпорации Google над созданием языка Go.

За свои научные результаты К. Томпсон получил немало наград. Так, в 1983 г. Томпсон и Ритчи получили премию им. Тьюринга «за разработку общей теории операционных систем и, в частности, за создание UNIX».

Деннис Ритчи родился в 1941 г. в районе Бронксвилл (Нью-Йорк) в семье научного сотрудника Bell Labs А. Ритчи (Alistair E. Ritchie). После окончания средней школы в городке Саммит штата Нью Джерси поступил в Гарвард, получив по окончании учебы степень магистра физики. Далее, с 1967 г. до выхода на пенсию,

¹ Несколько ранее К. Томпсон создает язык Bon для операционной системы Multics, которая оказалась неудачной, но опыт работы над ней послужил созданию UNIX [37].



Деннис Ритчи

жизнь Д. Ритчи была связана с Bell Labs. Впрочем, он не забыл и Alma Mater – в 1968 г. получает там степень Ph. D. за докторскую диссертацию¹, написанную под руководством П. Фишера (Patrick C. Fischer: 1935–2011). В Bell Labs Д. Ритчи вместе К. Томпсоном пробуют создать операционную систему Multics. Неудача этой пробы (система получилась чрезмерно усложненная) обогатила опытом, и к 1969 г. появилась система UNIX. Д. Ритчи сыграл в ее создании ключевую роль, т. к. для этой системы им был создан язык Си.

Позже, в 1978 г., Д. Ритчи вместе с канадским ученым Брианом Керниганом (Brian Wilson Kernighan: 1942), работавшим в то время в Bell Labs, издает книгу «Язык программирования Си» [32], которая была переведена на многие языки и сделала Д. Ритчи знаменитым.

Деннису Ритчи принадлежит также расширение ALTRAN для языка FORTRAN. За свои научные результаты Д. Ритчи был неоднократно награжден: в 1983 г. – премией им. Тьюринга (совместно с К. Томпсоном) – за разработку общей теории операционных систем, в частности, за создание UNIX; в 2005 г. – премией Исследовательского Института Промышленности² – за вклад в науку и технологии.

Деннис Ритчи умер 12 октября 2011 г. от рака, через неделю после смерти Стива Джобса – основателя компании Apple.

¹ Название диссертации было «Program Structure and Computational Complexity».

² Находится в городке Арлингтон (штат Вирджиния) – фактически пригороде Вашингтона.

§ 17. Языки конкретных классов задач

В те же годы, когда появлялись языки структурного программирования (т. е. в 1958–1975 гг.), для решения конкретных классов задач создавались свои языки программирования.

В 1958 г. был создан первый *аппликативный*¹ (функциональный) язык Lisp (от англ. **LIS**t **P**rocessing), автор – Джон Маккарти (John McCarthy: 1927–2011)) (см. [40], а также [1, с. 141–142]). Язык Lisp создавался Д. Маккарти с 1955 г. в процессе работы над системами искусственного интеллекта² в Массачусеттском Технологическом Институте (MIT). У языка Lisp появилось немало диалектов: Lisp 1.5, MacLisp, ZetaLisp, NIL, InterLisp, Common Lisp, Scheme, ISLISP (последние три из них используются и в настоящее время).

В 1960 г. Д. Маккарти публикует работу³, в которой не только описываются цели создания функциональных языков программирования (в частности, Lisp), и при этом демонстрируется возможность участия объекта, как в роли функции, так и в роли аргумента, но и утверждается возможность автоматизации проверки математических утверждений.

Термин *аппликативный язык* по отношению к языку Lisp связан с тем, что в комбинаторной логике, используемой в Lisp, единственный метаоператор – это *апликация* или приложение одного объекта к другому.

По своему синтаксису Lisp схож с создававшимся в 60-е гг. также для применения в исследованиях, связанных с искусствен-

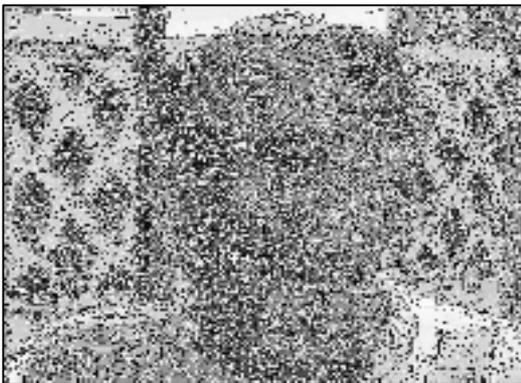
¹ Аппликативные языки программирования базируются на последовательном применении функциональных преобразований к данным (подробнее см. [39]).

² Сам термин «искусственный интеллект» появился на рубеже 1955–56 гг. (см. [1, с. 127]).

³ McCarthy D. *Recursive Functions of Symbolic Expressions and Their Computation by Machine* // Communications of the ACM. – 1960. – No. 3 (4). – P. 184–195.



Джон Алан Робинсон



Карл Хьюитт

ным интеллектом, функционально-логическим языком Planner (англ. *planner* – планировщик). Однако последний имеет гораздо более широкий набор встроенных функций.

Творцом языка Planner является Карл Хьюитт (Carl Hewitt), работавший тогда в Лаборатории Искусственного Интеллекта MIT над докторской диссертацией под руководством сразу трех ученых: Сеймура Пейперта, Мэрвина Мински и Майка Петерсона (Michael Stewart «Mike» Paterson)¹.

Работа К. Хьюитта о языке Planner опубликована в 1969 г. [41]. Предназначением языка Planner, по

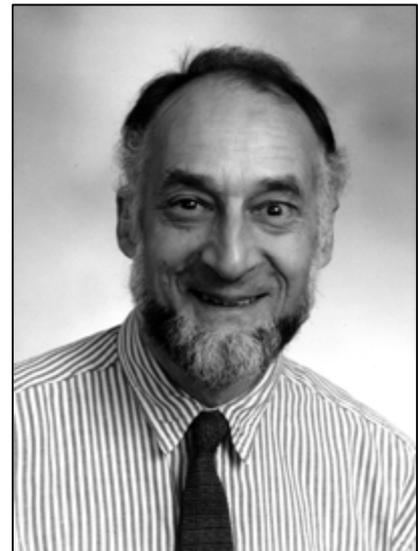
мысли автора, должно было стать создание систем планирования действий роботов.

В СССР язык Planner был реализован примерно через 10 лет в системе ПЛЭНЕР-БЭСМ для БЭСМ-6.

В 1965 г., т. е. через пять лет после выхода упоминавшейся выше работы Д. Маккарти, вышла работа Джона Робинсона (John

¹ Биографии С. Пейперта (Seymour Papert) и М. Мински (Marvin Minski) см. в I части книги. М. Петерсон защитил докторскую диссертацию в 1967 г. в Кембридже. После трех лет работы в MIT вернулся в Великобританию в Университет Варвика, где стал (и оставался до 2007 г.) директором Центра дискретной математики и ее приложений.

Alan Robinson: 1930)¹, являющаяся базовой в автоматизации правила резолюции в логике². Реализовал метод автоматического доказательства теорем (предложенный Д. А. Робинсоном) в 1973 г. Робин Милнер (Arthur John Robin Gorell Milner: 1934–2010), положив начало создания семейства ML (Meta Language) – строгих языков функционального программирования [43].



Робин Милнер

Язык Planner был первым языком того направления в программировании, которое получило название *логического программирования*, и опирается на автоматическое доказательство теорем [45–46]. Самым известным языком логического программирования является язык Prolog (от фр. **PRO**grammation en **LOG**ique).

Prolog – это язык и система логического программирования, основанная на некотором подмножестве³ формальной системы –

¹ John Alan Robinson. *A Machine-Oriented Logic Based on the Resolution Principle* // Communications of the ACM. – 1965. – No. 5. – P. 23–41.

² В СССР метод построения машинных алгоритмов поиска логического вывода для **любых** логических исчислений (а не только для исчисления предикатов первого порядка, как у Д. Робинсона) был дан С. Ю. Масловым (1939–1982) в 1967 г. в работе [42] (см. также [1]).

³ Это подмножество состоит из предикатов логики *дизъюнктов Хорна*. Дизъюнкт Хорна – это дизъюнкция литералов с не более чем одним положительным литералом. Напомним, что *литерал* – это запись в исходном коде программы, представляющая собой фиксированное значение. Константы отличаются от литералов тем, что к ним обращение осуществляется посредством ссылок. К элементарным литералам относятся, в частности, литералы для записи чисел (*числовые литералы*), строки символов, заключенные в кавычки или скобки (*строковые литералы*), два литерала *true* и *false* или их аналоги (*логические литералы*). Дизъюнкт Хорна ровно с одним положительным литералом называется *определенным дизъюнктом*. Дизъюнкт Хорна без положительных литералов в логическом программировании называется *целью* (или запросом). Поскольку резолюция двух дизъюнктов Хорна является дизъюнк-

логики исчисления предикатов первого порядка (см. [1, с. 132–133]). Основными понятиями в Prolog являются *факты, правила логического вывода и запросы*. Эти понятия позволяют описывать базы знаний, процедуры логического вывода и принятия решений.

Тем самым появление языка Prolog завершило создание аппарата для создания экспертных систем – и они немедленно появились [1, § 14].

Язык Prolog был описан в 1972 г. французским информатиком Аленом Кольмерауером (Alain Colmerauer: 1941) при поддержке Филиппа Руссела (Philippe Roussel) [47].

К основным реализациям языка Prolog относятся: GNU Prolog, Quintus, SICStus, YAP.



Кристен Нюгорд

В 1967 г. появился язык Simula-67, инспирированный Алголом-60 [48]. Создателями этого языка были двое норвежцев: Кристен Нюгорд (Kristen Nygaard: 1926–2002) и Даль Оле-Йохан (Dahl Ole-Johan: 1931–2002).

То, что этот язык знаменует рождение совершенно нового класса языков – *объектно ориентированных языков* (ООП) [49], поначалу заметили не многие. А ведь языки этого класса сочетали в себе новые идеи, базирующиеся на понятиях *инкапсуляции*¹,

том Хорна, а резолюция цели и определенного дизъюнкта также является дизъюнктом Хорна, то в автоматическом доказательстве теорем это дает результат, если теорема представлена в виде цели. Добавим, что дизъюнкты (Хорна) были впервые описаны американским математиком Альфредом Хорном (Alfred Horn: 1918–2001) в работе [44] в 1951 г.

¹ Инкапсуляция – это свойство системы, позволяющее объединить данные и методы, работающие с ними в класс, избавив пользователя от деталей реализации [49].

наследовании¹, полиморфизма², дающих возможность, разбивая задачу на составные части, работать над каждой частью по отдельности, применяя ставшие уже классическими принципы структурного программирования [49; 50].

Важно также, что эти языки позволили оптимально организовать программы, что резко снизило стоимость создания программы, тем самым, расширило возможности их применения.



Даль Оле-Йохан

В центре ООП лежит понятие объекта. Скрытие данных объекта от остальной программы и является сущностью инкапсуляции. Для объектной ориентированности требуется наличие свойства наследования. Наконец, возможность объектов с одинаковой спецификой иметь различную реализацию – это и будет полиморфизм языка программирования.

Добавим, что каждый объект является представителем *класса*, который выражает общие свойства объектов. Классы организованы в ориентированное граф-дерево с единственным корнем. Возвращаясь к языку Simula-67, отметим, что фактически этот язык есть объектное расширение языка Algol-60.

Через два года после появления языка Simula-67 была начата разработка следующего объектно ориентированного языка, названного Smalltalk (доступен для пользователей с 1980 г.). В окончательную версию Smalltalk-80 были добавлены метаклассы.

¹ Наследование – это свойство системы, позволяющее описать новый класс, на основе существующего, с частично или полностью заимствующимися признаками, или, как говорят программисты, функциональностью [49].

² Полиморфизм – это свойство системы использовать объекты с одинаковым интерфейсом без информации о типе и внутренней структуре объекта [49].



Бьерн Страуструп

Авторами языка Smalltalk являются Алан Кэй (Alan Kay: 1940) и Дэн Ингалс (Daniel Henry Holmes Ingalls, Jr.) (подробнее см. [51]).

К 1983 г. относится создание объектно ориентированного языка C++ [33]. Его автор – датчанин Бьерн Страуструп (Bjarne Stroustrup: 1950).

Этот язык используется при создании операционных систем, драйверов,

высокопроизводительных серверов. Уже из названия языка следует, что он является развитием языка Си. Являясь весьма популярным языком общего назначения, он, в отличие от языка Си, поддерживает объектно ориентированное и обобщенное программирование [33].

В мае 1995 г. был выпущен императивный, кроссплатформенный объектно ориентированный язык Джава = Java¹. Основное его достоинство – наличие программы, обрабатывающей байтовый код и передающей инструкции оборудованию как интерпретатор, и, тем самым, независимость байтового кода от операционной системы и оборудования. Язык Java соединил в себе достоинства многих языков, прежде всего Ada-83 и Object Pascal, появившихся в промежутке 1983–1994 гг., но повлиял также на многие языки, появившиеся позже. Впрочем, и сам язык Java терпел ряд модификаций: Java 2, Java 5.0, Java 6, Java7.

Отметим также, что внутри Java существует уже несколько семейств технологий, обеспечивающих, в частности, возможность использования в устройствах с ограниченной вычислительной мощностью, например в мобильных телефонах, или с ограниченной памятью, например в смарт-картах (подробнее см., например, [52–55]).

¹ Язык Java был разработан компанией Sun Microsystems, позже поглощенной компанией Oracle Corporation.

Упражнения

1. Требуется составить таблицу значений функции $y = f(x)$ для x_1, \dots, x_n , если

$$f(x) = \{ \varphi(x) \text{ при } x < x^*; \varphi(x) + \theta(x) \text{ при } x \geq x^* \},$$

где $\varphi(x) = x^5 + x + 1$, $\theta(x) = (\sqrt{x}) + 2$,

$$x^* = 2, x_1 = -1, x_k = (x_1)^k, k = 2, 3, \dots, 20, n = 20.$$

[9, с. 139, пример 3.2]

Напишите программы для вычисления таблицы на языках: FORTRAN, ALGOL-68, C, Pascal, Java.

2. Какие средства существуют в разных языках, обеспечивающие прерывание нормального хода программы при определенных условиях (*ситуации прерывания*)? Приведите примеры.

3. Какие *операторы ввода (вывода)* применяются в разных языках? Опишите их, приводя примеры.

4. Дайте определение *простой переменной* и переменной с *индексами* в выбранном вами языке. Что такое *описание массива*?

5. Как выглядит *оператор процедуры* в языках, которые вы знаете? Приведите пример рекурсивной процедуры в произвольных, по вашему выбору, языках.

6. Дайте определение *гипертекста*¹. Приведите пример. Что такое *гиперссылка*?

7. Что такое *метаязык*?² Приведите пример. Дайте определение *формы Бэкуса-Наура*.

¹ Изобретателем понятия «гипертекст» (1965) и создателем гипертекстовой системы Xanadu является американский философ и социолог Тэд Нельсон (Theodor Holm Nelson: 1937).

² Напомним, что понятие «метаязык» было введено польским математиком Альфредом Тарски (Alfred Tarski (Tajtelbaum): 1902–1983) (подробнее см.: Тарски А. *Введение в логику и методологию дедуктивных наук*. – М.: Госиздат ИЛ, 1948. – 325 с.; а также [1]).

Глава V. История баз данных и информационно-поисковых систем¹

§ 18. Система управления базами данных в интерактивном режиме

Напомним, что *базой данных* (БД)² называется совокупность данных, организованных в соответствии с определенными правилами и поддерживаемых в памяти компьютера [56; 57]. При этом обычно добавляется, что эта совокупность данных характеризует актуальное состояние некоторой предметной области и служит для удовлетворения информационных потребностей пользователей.

Из определения базы данных следует, что БД хранится и обрабатывается в вычислительной системе. Обратное – не верно, так как файловые архивы, электронные таблицы и интернет-порталы тоже хранятся и обрабатываются в вычислительной системе.

Более того, неправомерно называть базами данных сведения из определенного вида деятельности человека, которые хранят, например, бухгалтерские книги (что имело место в средневековой Италии, начиная с XV в.), сведения о страховых случаях с морскими судами (с XVI в.) в Англии, сведения об уплате податей в Киевской Руси после административной реформы княгини Ольги (945) и т. д. Тем не менее нередко период до 1900 г.

¹ В данной главе не приводится история языка SQL, позволяющего определять и динамически изменять схему базы данных, история оператора SELECT, агрегатных функций, средств формулировки аналитических и рекурсивных запросов, средств манипулирования данными, объектных расширений языка баз данных SQL.

² Термин *база данных* (Data Base) появился только в начале 60-х гг. До этого употреблялся термин *банк данных*.

называют *нулевым периодом* в истории баз данных, а период 1900–1950 гг. – *первым периодом* истории баз данных.

Фактически, история баз данных начинается только с 1955 г., когда появилось программируемое оборудование обработки записей на основе файлов¹. В тот период данные (во внешней памяти) хранились на перфокартах [56], хотя уже в феврале 1954 г. бывшему школьному учителю Рейнольду Джонсону (Reynold



Рейнольд Джонсон

W. Johnson: 1906–1998), с 30-х гг.² связанному с фирмой IBM, впервые удалось переписать данные с перфокарт на диск³. В 1956 г. уже был выпущен серийный дисковый накопитель, который фирма IBM выпустила для своей системы IBM 305 RAMAC⁴.

Создание дискового накопителя положило начало истории систем управления данными во внешней памяти компьютера. Первый шаг в создании *системы управления базами данных* (СУБД) был сделан Чарльзом Бахманом (Charles William Bachman: 1924) в 1960 г., когда он перешел в корпорацию General Electric (GE) из химической компании Dow Chemical. В GE он

¹ Напомним, что *файл* (в этой главе) – это именованная область внешней памяти, в которую можно записывать и из которой можно считывать данные [56, с. 19].

² В 1971 г. Р. Джонсон покинул фирму IBM, в рамках которой им было получено свыше 90 патентов, в том числе и на «электрографию» – прародительницу ксерокопирования. В 1986 г. Р. Джонсон за свои изобретения получил из рук Президента США Р. Рейгана Национальную медаль Технологий, а в 1987 г. – Computer Pioneer Award [58].

³ Появление устройств внешней памяти со съёмными пакетами магнитных дисков и подвижными головками чтения/записи вызвано было к жизни, в первую очередь, требованиями со стороны бизнес-приложений. Впрочем, сама идея наличия головки считывания/записи восходит к ленточным автоматам Э. Поста и А. Тьюринга (см., например, [1, гл. II]).

⁴ RAMAC = **R**andom **A**ccess **M**ethod of **A**ccounting and **C**ontrol. Систему IBM 305 RAMAC иногда называют первым суперкомпьютером.



Чарльз Бахман

разрабатывает одну из первых в мире СУБД, названную им Date Store. Ч. Бахман был и руководителем рабочей группы Date Base Task Group, созданной в 1965 г. и разработавшей концепцию схем баз данных и концепцию независимости данных, сформулировавшей понятие подсхемы (первая публикация в 1969 г., последующие – в 1971, 1973 и 1978 гг. (см. [56; 59]).

Следующий шаг в развитии БД был сделан специалистами из ИВМ в середине 60-х гг. для серии компьютеров ИВМ/360, когда ими была создана операционная система OS/360 и в рамках этой ОС – первая развитая система управления файлами¹. Реализация этой системы стала возможной благодаря появлению контроллеров управления дисковыми устройствами.

Чарльз Бахман родился в городке Манхэттен штата Канзас в семье футбольного тренера из колледжа (Kansas State College) в 1924 г. Среднюю школу он окончил в городке Восток Лансинг (East Lansing, штат Мичиган), где находится университет штата Мичиган. С марта 1944 г. Ч. Бахман служит в армии США (в противозенитной артиллерии) на театре военных действий против Японии. После демобилизации в 1946 г. поступает в колледж

¹ Напомним, что английский термин file system и соответствующий русский термин *файловая система* имеет два значения: 1) архив файлов, хранящихся во внешней памяти и 2) программная система, управляющая файлами [56]. Файлы, которые представляют собой наборы блоков, нумеруемых в адресном пространстве файла и отображаемых на физические блоки диска, называют *базовыми*. Первоначально в файловых системах пользователи представляли файл как последовательность записей, однако с появлением ОС UNIX все чаще любой файл представляется как непрерывная последовательность байтов.

штата Мичиган (при Мичиганском университете) и в 1948 г. получает степень бакалавра по инженерной механике. Через два года он получает степень магистра по этой же специальности в университете штата Пенсильвания. Далее – десятилетняя (до 1960 г.) работа в химической компании Dow Chemical (Мидленд, штат Мичиган), где он дослужился до должности менеджера по обработке информации¹.

Перейдя в 1960 г. в фирму General Electric (GE), Ч. Бахман разрабатывает одну из первых в мире СУБД, названную им Integrated Data Store (IDS).

К IDS он, при поддержке крупнейшей целлюлозно-бумажной компании Вейерхойзер Ламбер (Weyerhaeuser Lumber), создает первое в мире мультипрограммное устройство² по выборке информации. Покинув GE в 1970 г., Ч. Бахман переходит в маленькую компанию Cullinane Information Systems, переименованную позже в Cullinet., создававшую программное обеспечение для фирмы IBM.

В 1973 г. за выдающийся вклад в развитие технологий баз данных был награжден Премией Тьюринга. Позже под руководством Ч. Бахмана был, в частности, разработан стандартный язык определения данных и манипулирования данными; он же был одним из первых создателей сетевой³ модели баз данных.

Работы Ч. Бахмана за период с 1951 по 2007 г. хранятся в Институте им. Ч. Бэббиджа Университета Миннесоты.

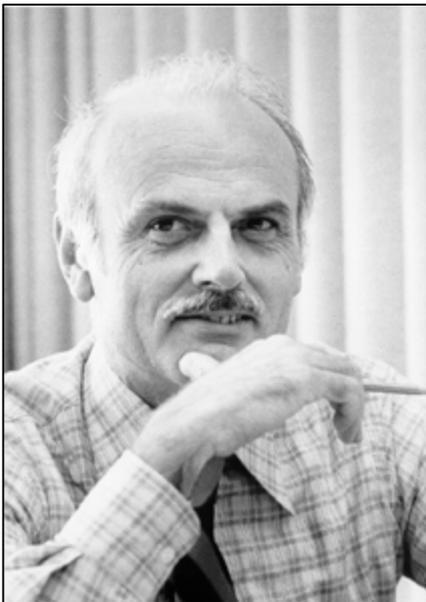
¹ Data Processing manager.

² Multiprogramming access.

³ *Сетевая модель данных* – это логическая модель данных, являющаяся расширением иерархического подхода и описываемая ориентированным графом, прообраз любой (кроме корней) вершины которого (в отличие от реализации иерархической модели) может состоять не из одной вершины (подробнее см. [56]).

§ 19. Реляционная модель данных

В 1969 г. в Сан-Хосе (Калифорния) в фирме IBM математик Эдгар («Тед») Кодд (Edgar Frank Codd: 1923–2003) закончил работу над первой *реляционной*¹ моделью данных (опубликована год спустя [60]). Однако более десятилетия все результаты Э. Кодда подвергались критике за якобы невозможность эффективной реализации такой модели. Были и другие причины, мешавшие принятию этой модели. С одной стороны, это была критика Ч. Бахмана, с другой – сложившееся мнение о Э. Кодде как о «леваке», он был вынужден даже на 10 лет (1953–1963) покинуть США из-за преследований маккартистов².



Эдгар Кодд

В 1972 г. в фирме IBM создают группу по развитию реляционной модели данных. Но возглавил ее не Э. Кодд, а только что защитивший докторскую диссертацию 25-летний Р. Бойс (Raymond Boyce: 1947–1974).

Вместе с Э. Коддом он разрабатывает (*первую*) *нормальную форму* (названа позже *формой Бойса-Кодда*), и вместе они формулируют основные понятия баз данных: *тип данных, домен, атрибут, отношение, заголовок (= схема) отношения, кортеж, тело отношения, первичный ключ, внешний ключ*³.

¹ Термин «реляционный» произошло от *relation* (= отношение).

² Сенатор-республиканец Джозеф Маккарти (Joseph McCarthy: 1908–1957) был олицетворением сил, боровшихся в период 1947–1956 гг. не только против левых идей, но и против гомосексуалистов. И это последнее, было, по видимому, единственным, что ему нравилось в политике СССР.

³ Напомним, что понятие типа данных взято в точности из языков программирования. В реляционных базах данных обычно хранятся символьные, числовые, специализированные числовые, специальные временные и собственные данные.

Реляционная модель данных с момента ее создания, согласно наиболее распространенной трактовке, состоит из трех частей: *структурной части, манипуляционной части и целостной части*¹.

Отметим, что манипуляционная часть с начала 90-х гг. опирается на реляционную алгебру, наиболее известный вариант ко-

Домен – допустимое потенциально, ограниченное подмножество данного типа. Обычно задается в виде пары (β, P) , где β – некоторый базовый тип данных, а P – произвольное логическое выражение, применяемое к элементам этого типа данных.

Заголовком отношения μ называется конечное множество (N_μ) *атрибутов*, т. е. упорядоченных пар вида $\langle A, T \rangle$, где A – имя атрибута, а T – имя некоторого базового элемента или домена.

Кортежем t_μ , соответствующим заголовку N_μ , называется множество упорядоченных триплетов вида $\langle A, T, \gamma \rangle$, где γ является допустимым значением типа данных или домена T .

Телом B_μ отношения μ называют произвольное множество кортежей t_μ .

Первичным ключом (переменной) отношения является такое подмножество S – множества атрибутов ее заголовка, что в любое время значение первичного ключа в любом кортеже тела отношения отличается от значения первичного ключа в любом другом кортеже тела этого отношения, а никакое собственное подмножество множества S этим свойством не обладает [56].

n-арным отношением ϑ называют подмножество декартова произведения множеств D_1, D_2, \dots, D_n , не обязательно различных. Множества D_1, \dots, D_n называют доменами. Интерпретация отношения ϑ – это таблица с n столбцами, в которой нет двух одинаковых строк, а столбцы соответствуют атрибутам отношения ϑ . При этом каждый атрибут в отношении ϑ имеет уникальное имя (подробнее см. [56; 57; 60]).

¹ *Структурная часть модели* определяет, что единственной структурой данных является нормализованное n -арное отношение.

Манипуляционная часть модели определяет два основных способа манипулирования данными: с помощью реляционной алгебры и с помощью реляционного исчисления.

Целостная часть реляционной модели определяет два базовых требования целостности: 1) *требование целостности сущности (entity integrity)*, выражающееся в том, что любая переменная отношения должна обладать первичным ключом и никакое значение первичного ключа в кортежах значения/отношения переменной отношения не должно содержать неопределенных значений; 2) *требование целостности по ссылкам (referential integrity)*, выражающееся в том, что для каждого значения внешнего ключа, появляющегося в ссылающемся отношении, на которое ведет ссылка, либо должен найтись кортеж с таким же значением первичного ключа, либо значение внешнего ключа должно быть неопределенным (т. е. ни на что не указывать) [56; 57]).

торой был предложен Кристофером Дейтом (Christopher J. Date: 1941) и назван реляционной алгеброй Кодда¹.

Раймонд Бойс до своей смерти (1974) успевает вместе с Дональдом Чемберленом (Donald D. Chamberlen: 1944) разработать и язык SQL (= Structure Query Language) – первый коммерчески удачный язык для реляционных моделей данных [61]. Первой реализацией SQL стала реляционная СУБД System R², созданная в 70-х гг. [62].



Дональд Чемберлен

Язык SQL с момента его создания в 1972–1974 гг. для реляционной СУБД System R претерпел развитие, но сохранил большинство традиционных средств стандарта SQL [61].

Однако уже со второй половины 70-х гг. начались работы, приведшие к *объектно-реляционным*³ расширениям языка SQL. Именно в это время к развитию СУБД System R в рамках компании IBM подключился Вон Ким (Won Kim). Чаще всего из этого периода ци-

¹ В алгебре Кодда определяются два класса операций: теоретико-множественные (объединение, пересечение, взятие разности и взятие декартова произведения отношений) и специальные реляционные операции (ограничение отношения, проекцию отношения, соединение отношений и деление отношений). Кроме того, в алгебру включают две операции: операцию присваивания и операцию переименования атрибутов [56, с. 56].

² В 1988 г. Д. Чемберлен был награжден Премией ACM Software Systems за создание System R.

³ Напомним, что *система*, которая обеспечивает объектную инфраструктуру и набор реляционных расширителей, называется *объектно-реляционной*. Объектно-реляционная система должна обеспечивать специальные средства для повышения эффективности приложений, связанных с большими объектами, и минимизации их влияния на системные ресурсы. Термин *объектно-реляционная система* ввел на рубеже 80–90 гг. южнокорейский ученый Вон Ким (Won Kim).

тируются его работы, посвященные преобразованию SQL-запросов, в частности превращения запросов с вложенными подзапросами в запросы с соединениями [56, с. 450]¹.

Заметим, что вне фирмы IBM в университете Беркли еще с начала 70-х гг. создавалась собственная некоммерческая СУБД, названная Ingres [63].

В исходном варианте СУБД Ingres поддерживала собственный язык запросов QUEL. Создателем СУБД Ingres был Майкл Стоунбрейкер (Michael Stonebraker: 1943)². Из важных свойств СУБД Ingres отметим, что в ней допускается определение пользовательских процедур, выполняемых на стороне сервера, кроме того, в среде Ingres уже начинали поддерживаться ненормализованные отношения.

В 80-е гг. М. Стоунбрейкер³ возглавил проект Postgres, в котором поддерживалась темпоральная модель хранения и доступа к данным. Добавим, что в Postgres допускалось хранение в полях отношений данных, определяемых пользователями абст-



Майкл Стоунбрейкер

¹ Приведем в качестве примера менее известную работу Вон Кима по этой тематике: Won Kim. *On optimizing an SQL-like nested query* // Journal ACM Transactions on Database Systems (TODS). – V. 7. – Issue 3 (1982). – P. 443–469.

² Университетская СУБД Ingres используется до сих пор (код поддерживается в Беркли). Что касается коммерческой версии Ingres, то права на нее принадлежат фирме Computer Associated.

³ М. Стоунбрейкер родился в городке Ньюберипорт (штат Массачусетс) в 1943 г. Учился вначале в Принстонском университете (бакалавр в 1965 г.), затем в Мичиганском университете (магистр – 1967 г.; Ph.D. – 1971 г.). Работал с 1971 по 2001 г. в Беркли (Калифорнийский университет), где стал профессором информатики. С 2001 г. – профессор информатики в MIT. В 1992 г. ему была присуждена первая ежегодная премия Кодда.

рактных типов. Язык запросов в Postgres был собственный: Postquel. Важно еще подчеркнуть, что в Postgres не предполагалось существования языка программирования, одинаково понимаемого как СУБД, так и внешней системой программирования.

Как Ingres, так и Postgres можно назвать лишь предтечами объектно-реляционных СУБД. Другой предтечей можно назвать серию прототипов объектно ориентированных СУБД Orion, созданных в 80-е гг. Вон Кимом.

По-настоящему первой объектно-реляционной системой был продукт UniSQL, выпущенный в 1991 г. компанией UniSQL, основанной в конце 80-х гг. Вон Кимом. Этот продукт впервые позволяет интегрировать неоднородные БД, основанные на разных моделях данных и управляемых разными СУБД. В частности, задается единое представление данных, которые могут храниться как в базе данных, управляемой непосредственно UniSQL, так и в какой-нибудь из либо реляционных баз данных, например СУБД Oracle, либо даже дореляционных баз данных. Таким образом, UniSQL обеспечивает возможность построения *федеративной системы баз данных*.

UniSQL является системой объектного расширения реляционной модели баз данных на основе 4-х принципов: 1) значениями атрибутов отношений могут быть объекты, а не только литеральные значения; 2) значения атрибутов отношений могут быть и не атомарными; 3) при построении таблиц (классов) можно использовать и механизм наследования; 4) классы включают операции.

Система UniSQL поддерживает расширение стандарта SQL-SQL/X, и при этом в одном языке поддерживается возможность и определения данных, и манипулирования ими (см., например, [64]).

Отметим, что новые стандарты языка SQL (SQL:1999 и SQL:2003) уже содержат объектные расширения.

Эдгар Кодд родился на острове в Портленде (Англия) в 1923 г. Математику и химию он изучал в Exeter колледже Оксфорда. Во время II Мировой войны Э. Кодд был пилотом Королевских Военно-воздушных сил. В 1948 г. Э. Кодд становится программистом фирмы IBM в Нью-Йорке. Из-за душной атмосферы «маккартизма» Э. Кодд был вынужден покинуть США на десять лет (1953–1963) и переехать в Оттаву (Канада). По возвращении он защищает докторскую диссертацию в Мичиганском университете (в Ann Arbor), а в 1965 г. его принимают в исследовательскую лабораторию фирмы IBM в Сан Хозе (Калифорния), где он проработал до конца 80-х.

В 1981 г. Э. Кодд был награжден премией Тьюринга за создание реляционной модели управления базами данных. Позже Э. Кодд стал заниматься сложными многотабличными запросами. Именно ему принадлежит термин OLAP (*Online Analytical Processing*) – аналитическая обработка в реальном времени (подробнее см. [65]).

Еще при жизни Э. Кодда в 1992 г. в ассоциации компьютерной индустрии (Association for Computing Machinery) специальной группой SIGMOD (Special Interest Group on Management of Data) была установлена Премия имени Э. Кодда (SIGMOD Edgar F. Codd Innovations Award). Ее первым лауреатом стал М. Стоунбрейкер.

Раймонд Бойс родился в Нью-Йорке в 1947 г., учился в университете штата Индиана (Purdue University Indianapolis) и там же в 1971 г. защитил докторскую диссертацию по компьютерным наукам. По приглашению фирмы IBM для участия в проекте по базам данных Р. Бойс переезжает в Нью-Йорк. Там в течение двух лет он совместно с Э. Коддом разрабатывает первую нормальную форму. Одновременно он вместе с Дональдом Чемберленом создает язык SQL. Заболевание (аневризма мозга) приводит его к смерти в 27 лет.

§ 20. Специальные базы данных, включая базы информационно-поисковых систем

К специальным базам данных относят, во-первых, базы, занимающие очень большой объем на устройстве физического хранения (Very Large Database (VLDB))¹, а, во-вторых, базы, являющиеся составной частью информационно-поисковых систем.

Существует целый ряд определений VLDB, носящих, однако, временный характер. Дело в том, что база, относящаяся сегодня к VLDB, завтра, с развитием технологий, может стать просто крупной базой данных. В последнее время приводят чаще всего определения VLDB, данные профессором Робертом Холлебиком (Robert Hollebeek: 1951), участником проектов NDMA – Национального электронного медицинского архива и NDMA UP – Национального электронного маммографического архива при Пенсильванском университете (США)².

Итак, VLDB (в последнее время называемая *экстремальной* базой (см. далее сноску 1, с. 45)) – это база данных, для которой «трудно подобрать нужный объем аппаратных ресурсов», в частности, «это база, чей индекс не помещается в физической памяти суперкомпьютера или компьютерного кластера». В конечном счете, наличие сверхбольшой базы данных определяется по производительности базы данных – если она резко падает, то мы имеем дело с данной базой. В этом случае Р. Холлебик рекомендует: «...наращивать память до максимума. Если же возможности

¹ Конференции по VLDB проходят ежегодно с 1975 г. при поддержке некоммерческого фонда VLDB Endowment Inc. (Последняя конференция прошла в 2012 г. в Стамбуле, следующая будет в Италии в Riva del Garda). Результаты этих конференций оказывают влияние и на развитие обычных баз данных (см.: URL: <http://www.vldb.org/>).

² Профессор физики Пенсильванского университета Р. Холлебик был участником проекта NDMA с июля 2004 г. по сентябрь 2006 г. и проекта NDMA PU – в 1999–2004 гг.

увеличения памяти исчерпаны, то использовать параллельные структуры для организации данных. Если и это невозможно, то используйте индексы для индексных таблиц»¹.

В последнем случае мы фактически имеем дело с ситуацией, разрешенной в 1993 г. Э. Коддом, творцом технологии OLAP² – т. е. технологии обработки данных, сводящейся к подготовке агрегированной информации на основе больших массивов данных, структурированных по многомерному принципу.

Заметим также, что изучение больших сетей (Large Scale Network), например при исследовании генома человека, приводит к VLDB [67].

Кроме очень широких баз данных (VLDB) есть еще одна специальная база, являющаяся составной частью информационно-поисковой системы (ИПС). Напомним, что *информационно-поисковая система* – это система, обеспечивающая поиск и селекцию (отбор) необходимых данных в специальной базе с описаниями источников информации на основе информационно-поискового языка и соответствующих правил поиска.

Качественную характеристику процедуры поиска, выражающую соответствие результатов поиска сформулированному запросу, называют *релевантностью* [66].

ИПС обычно подразделяют на четыре группы: *локальные, глобальные, региональные и специализированные*.

Локальные ИПС служат для поиска страниц в масштабе отдельного сервера. Региональные ИПС служат для описания информационных ресурсов заданного региона; специализированные ИПС используются в рамках определенных структур, например

¹ Eric Ahrendt. *Extreme data bases. The biggest and fastest* // IBM Data Management Magazine. – Issue 1. – 2010. – P. 17–22.

² Подробнее см., например, книгу: Thomsen E. *OLAP Solutions: Building Multi-dimensional Information Systems*. – John Wiley, 2002. – 696 p.

МВД. Наконец, глобальные ИПС стремятся описать ресурсы всего информационного пространства.

В качестве поисковых инструментов применяются обычно *каталоги, поисковые машины и метапоисковые машины* [66].

Напомним, что каталог – это поисковая система с классифицированным по темам списком аннотаций со ссылками на web-ресурсы.

В качестве примера каталога можно привести популярный интернет-каталог «Yahoo».

Для Всемирной паутины первую поисковую систему («Wandex») предложил в 1993 г. Мэтью Грэй (Matthew Gray), работавший тогда в Массачусетском Технологическом Институте (MIT). В качестве языка в «Wandex» использовался язык Perl¹ (подробнее о языке Perl см., например, в [68]). В том же 1993 г. появилась и поисковая система «Aliweb». Ее разработчиком был Мартийн Костер (Martijn Koster) (см. [69]).

Через год появилась первая полнотекстовая ИПС «Web Crawler», индексирующая ресурсы при помощи программы-робота (Web robot) [70], т. е. уже настоящая *поисковая машина*².

В 1996 г. для русскоязычных пользователей Интернета стало доступно морфологическое расширение к поисковой машине «Alta Vista»³ [71].

¹ Perl – это высокоуровневый динамический язык программирования, созданный в 1987 г. в Лаборатории NASA (Jet Propulsion Laboratory) Ларри Уоллом (Larry Wall: 1954) в качестве языка «для извлечения данных и составления отчетов» (Practical Extraction and Report Language). Л. Уолл, по первой профессии филолог, был выпускником Seattle Pacific University и мечтал найти в Африке племя с бесписьменным языком и составить для него письменную версию (см.: URL: <http://www.wall.org/~larry/>).

² Напомним, что *поисковой машиной* называют поисковую систему с *базой данных, формируемой роботом* и содержащей информацию об информационных ресурсах.

³ Поисковая машина «AltaVista» появилась в декабре 1995 г. ее нововведением было включение поиска естественного языка. Идея поисковика принадле-

В 1996 г. появилась и первая российская поисковая машина «Рамблер» (англ. *rambler* – бродяга). Ее создателем был Д. В. Крюков (1960–2009)¹ [72, ч. IV].



Д. В. Крюков

В том же 1996 г. во время конференции ЗАО «Агама»² в феврале месяце был продемонстрирован созданный этой компанией поисковик «Апорт», который проводил тогда поиск только по сайту: *russia.agama.com*. (официальная презентация поисковой системы «Апорт» прошла 11 ноября 1997 г.; система индексировала уже весь рунет) [73].

В сентябре 1997 г. была введена в Эксплуатацию поисковая машина «Яндекс», разработку которой начинали А. Ю. Волож³, И. В. Сегалович⁴, а также А. Барковский (1989–1990), который, до своего отъезда в США, решал для будущего поисковика проблему релевантности. В ноябре 1997 г. для «Яндекса» была

жит Полу Флехерти (Paul Flaherty: 1964–2006), создателем бота был Луи Монье (Louis Monier: 1956), а Майкл Барроус (Michael Burrows: 1963) написал *indexer*.

¹ Дмитрий Витальевич Крюков разместил программу «Рамблер» в сети 8 октября 1996 г.

² ЗАО «Агама» была основана в 1992 г. со специализацией: разработка программного обеспечения. Имеет дочернюю компанию в США «Agama International, Inc.» [73].

³ Волож Аркадий Юрьевич родился в г. Гурьев (ныне Атырау) Казахской ССР в 1964 г. В 1986 г. окончил Институт нефти и газа им. И. М. Губкина по специальности «Прикладная математика». Работая в Институте проблем управления АН СССР, занимался исследованием VLDB. В 1989 г. основал телекоммуникационную дистрибьютерскую компанию ComrTek. С 2000 г. – генеральный директор компании Яндекс. Одновременно (с 2007 г.) заведует кафедрой «Анализ данных» в МФТИ.

⁴ Сегалович Илья Валентинович (1964–2013). Окончил (1986) Московский геологоразведочный институт по специальности «Геофизика». С 2000 г. – директор компании «Яндекс» по технологиям и разработке. Одновременно (с 2007 г.) преподает в МФТИ на кафедре «Анализ данных».



А. Ю. Волож



И. В. Сегалович

реализована возможность задания вопросов на естественном языке¹. В настоящее время «Яндекс» – не только крупнейший русскоязычный поисковик, но и крупнейший поисковик на татарском и украинском языках. В 2000 г. была создана компания «Яндекс». Ее учредителями стали акционеры компании ComrTek, в которой и была создана поисковая машина «Яндекс» [74].

С помощью кластеризации и поиска по метаданным строятся метапоисковые машины. *Метапоисковые машины* – это системы, которые могут послать запросы пользователя нескольким поисковым серверам одновременно, потом объединить полученные результаты и дать пользователю результат уже в виде документа со ссылками.

В качестве примера можно привести поисковик «Нигма», созданный в 2005 г. в МГУ (его первые создатели – В. С. Лавренко и В. А. Чернышев²). Поисковик «Нигма. РФ» является первой кластеризующей поисковой системой в Рунете. Проект его создания поддерживался Стэнфордским университетом [75].

Другим примером может служить визуальная поисковая система Quintura.

¹ Первая онлайн-версия Яндекса (представленная в 1997 г.) фактически была скриптовой надстройкой над крюковским движком Рамблера, позволявшей дополнить запрос по правилам русской морфологии.

² Лавренко Виктор Сергеевич (р. 1976) – ныне директор ИПС Nigma.ru; Чернышев Владимир Анатольевич (р. 1982) – ныне технический директор ИПС Nigma.ru.

Ее сайт был открыт в апреле 2006 г. Quintura позволяет *визуально* находить документы на русском языке с учетом морфологии русского языка при помощи слов-ассоциаций в виде визуального облака.

Один из создателей Quintura Яков Садчиков¹ для решения проблемы поиска предложил разработать программу, при помощи которой отбираются ссылки популярных поисковиков: Google, Яндекс и др. Визуализация этих ссылок в виде картинок позволяет сделать поиск доступным и для детей, и для пожилых людей, мало знакомых с компьютером [76].

Из зарубежных метапоисковиков отметим «MetaCrawler», созданный в 1994 г. тогда еще аспирантом Университета штата Вашингтон (Сиэтл) Эриком Селбергом (Eric Selberg: 1972)² в

рамках проекта для сдачи квалификационного экзамена. Его научным руководителем был профессор Орен Этциони (Oren Etzi-



Я. Садчиков



Ларри Пейдж

¹ Я. Садчиков является соучредителем и исполнительным директором венчурной компании Quintura, которая специализируется на операциях с частными акциями и развитии технологий.

² Э. Селберг родился в Канаде в г. Эдмонтон. В 1975 г. с родителями переехал в США в г. Солт-Лейк-Сити. Он закончил в 1993 г. Carnegie Mellon University, получив степень бакалавра по двум дисциплинам: математика/компьютерные науки и логика/вычислительная техника. В 1995 г. он получил степень магистра в Университете штата Вашингтон (Сиэтл) по специальности «компьютерные науки и техника», и по этой же специальности в 1999 г. защитил докторскую диссертацию (см.: URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Erik_Selberg).

oni) [77] (подробнее о первых Web-роботах см. [78]).

Наконец, настало время сказать и о самой известной крупнейшей метапоисковой системе «Google». Эта система была создана в 1998 г. двумя аспирантами Стэнфордского университета Ларри Пейджем (Lawrence Page: 1973) и Сергеем М. Брином (Sergey Brin: 1973) [79].

Основным поисковым роботом для Google служит User Agent Googlebot, а также еще 5 специализированных роботов. С сентября 2010 г. компания Google запустила голосовой поиск в России.

Дмитрий Витальевич Крюков родился в 1960 г. в семье математика, специалиста в области кибернетики, Крюкова Виталия Ивановича¹.

В 1964 г. семья В. И. Крюкова переехала в Академгородок Пущино, и там прошли детство и юность Дмитрия Крюкова. Позже в 1994–2005 гг. там же в Пущине в Институте биохимии и физиологии микроорганизмов РАН Дмитрий Крюков был ведущим программистом Центра вычислительной техники.

В 1982–1987 гг. Дмитрий учился в Московской Академии приборостроения, а позднее в Берлине (Technische Universität), где в 1990 г. он получил сертификаты программиста и системного администратора.

Русскоязычную поисковую систему «Рамблер» Д. Крюков разработал к октябрю 1997 г. в свободное от основной работы время. Вместе с Сергеем Лысаковым основал вначале компанию «Рамблер-Топ-100», а позже компании «Стек Групп» и «Стек

¹ В. И. Крюков впоследствии принял священный сан и стал игуменом Свято-Данилова монастыря. По прошествии 10 лет после ухода от науки он получил благословление на продолжение занятий математическим моделированием деятельности головного мозга (см.: URL: <http://armih.ru/history/istoki>).

Технологии»¹. В последней он был Генеральным директором до самой смерти, наступившей мгновенно (13 апреля 2009 г.), в результате разрыва аорты мозга [80].

Сергей (Михайлович) Брин родился в 1973 г. в семье выпускников мехмата МГУ им. М. В. Ломоносова Михаила Израилевича Брина (р. 1948) и Евгении Брин (Краснокутской: р. 1949)². М. И. Брин на рубеже 1977/78 гг. принял решение эмигрировать вместе с семьей из СССР. Склонила его к этому шагу, прежде всего, волна антисемитизма, на государственно-партийном уровне захлестнувшая страну в канун вторжения в Афганистан³.

В мае 1979 г. семейство Брин получило, после 8-месячного ожидания, разрешение на выезд. В США Сергей поначалу посещает школу в Аделфи (штат Мэриленд), но главное образование он получает дома. Отец умело направляет его интерес в сторону математики. В 1990 г. Сергей заканчивает престижную среднюю школу им. Элеоноры Рузвельт в Гринбелте (Мэ-



Сергей М. Брин

¹ Отметим, что компанию с названием «Стек» («Stack») организовал еще в 1991 г. Сергей Лысаков, к тому моменту уже 4 года возглавлявший Вычислительный центр Института биохимии и физиологии микроорганизмов РАН (подробнее о С. Лысакове см.: URL: <http://finam.fm/guestinfo/1732/>).

² После эмиграции в США в 1979 г. М. И. Брин стал преподавать в Мэрилендском университете, став позже профессором этого университета, а Е. Брин стала научным сотрудником Центра Годдарда – подразделения NASA [81].

³ В этот период родители, отказывающиеся осудить своих детей, подавших заявление на выезд из страны, автоматически исключались из партии, а партия в СССР была только одна – КПСС, и становились изгоями общества.

риленд) и поступает в Мэрилендский университет для изучения компьютерных наук и математики. Получив в 1993 г. степень бакалавра (с отличием), продолжил учебу в Стэнфордском университете со стипендией Национального Научного Фонда на изучение компьютерных наук. В Стэнфорде С. Брин знакомится с Ларри Пейджем, а в 1998 г. выходит их совместная работа [79], которая и положила начало поисковику Google.

Еще до выхода этой публикации (14 сентября 1997 г.) С. Брин и Л. Пэйдж зарегистрировали домен google.com. Ими же была зарегистрирована компания Google, оказавшаяся коммерчески необыкновенно успешной.

Следует подчеркнуть, что Сергей Брин является сторонником свободного Интернета и всеобщего доступа к информации [81; 82].

Упражнения

1. Составьте список всех своих знакомых.

а) Составьте на основе этого списка таблицу со столбцами: порядковый номер, фамилия, возраст, время знакомства.

б) Составьте по предыдущей таблице произвольный *целевой список*.

в) Пусть даны отношение: ЗНАКОМЫЕ_ВОЗРАСТ_ВРЕМЗН, атрибут: ЗНАКОМЫЕ_ВОЗРАСТ, а ПРО_НОМ—время знакомств.

Составьте сами какой-нибудь *минимальный* атрибут.

2. Дайте понятие *многозначной зависимости*. Сформулируйте лемму и теорему Фейджина (R. E. Fagen). Чем отличается *нормальная форма Бойса-Кодда* от *четвертой нормальной формы*?

3. Сформулируйте теорему Риссанена¹ и приведите пример ее использования.
4. Дайте определения и примеры операций `collect`, `size`.
5. Дайте определения предиката `between`.
6. Чем отличается запрос с традиционной группировкой от результата запроса, содержащего раздел `GROUP BY ROLLUP`?
7. В чем смысл введения оператора `SET SESSION AUTHORIZATION`?
8. Дайте определение User Defined Type-UDT и типизированных таблиц (Typed Table). Приведите пример.

¹ Й. Риссанен (Jorma Rissanen: 1932) – финский информатик, профессор-консультант Технологического университета в Тампере. Его научные результаты были, в частности, отмечены медалью Колмогорова (2006) и премией им. К. Шеннона (2009) (см.: *Golden Jubilee Awards for Technological Innovation* // IEEE Information Theory Society. – 2011. – July 14.).

Глава VI. История создания и развития операционных систем¹

§ 21. Прототипы операционных систем

Напомним, что *операционная система* (ОС) – это базовое системное обеспечение, управляющее работой компьютера и являющееся посредником между аппаратурой, прикладным программным обеспечением и пользователем компьютера [66, с. 26]. К аппаратуре (или «железу») относят, прежде всего, центральный процессор и устройство ввода-вывода.

Прикладное программное обеспечение включает в себя, в частности, *компиляторы*, обеспечивающие трансляцию программ с языков программирования в машинный код, СУБД, офисные программы (о них говорилось выше), *графические библиотеки*², а в последние годы также *игровые программы*.

В компьютерах, построенных до 1950 г., операционные системы отсутствовали. В десятилетие 1950–1960 гг. предшественниками ОС служили диспетчеры – системные программы, а по сути библиотеки времени исполнения, которые управляли прохождением пакета задач, вводимых с перфокарт. Выбирая из очереди в хронологическом порядке (без приоритетов и требуемых

¹ В данной главе мы не затрагиваем: истории управления процессами и памятью, включая виртуальную, истории безопасности информационных систем и сетей (хотя и приводим малоизвестную историю возникновения вирусов), а также истории классических коммуникационных протоколов.

² Напомним, что графические библиотеки – это скрипты, обеспечивающие раскрытие изображения, при клике на превью. Фактически нынешние графические библиотеки открывают любой контент: видеоролики, flash-заставки и т. д. [25].

ресурсов) некоторое задание, диспетчер размещал его в память и запускал. По окончании задания, а очень часто и прерывания его выполнения вследствие ошибки, на печатающем устройстве выдавалась распечатка [66, с. 39]¹.

Прообразом диспетчера послужило соединение IBM-табулятора с IBM вычислительным перфоратором, созданное в конце 40-х гг. инженерами компании Northrop Aviation (ныне корпорация Нортроп-Грумман) и названное вычислительным устройством, программируемым на перфокартах (Card Programmed Calculator = CPC) [83].

Как написал один из будущих создателей операционных систем (ОС) Роберт Л. Патрик (Robert L. Patrick), он познакомился с CPC в 1951 г. в Калифорнийском университете (Лос-Анджелес) (UCLA), а с 1953 г. программировал CPC для использования в IBM 701.

В 1954 г. Р. Патрик перешел в исследовательскую лабораторию фирмы General Motors, где он не только усовершенствовал CPC для IBM 701, но и разработал систему безостановочного (non-stop) мультипрограммирования для IBM 704.

В 1954 г. группа программистов из Лос-Анджелесского подразделения компании North American Aviation (NAA), в которой участвовал Оуэн Мокк (Owen R. Mock), создала РАСТ² – серию компиляторов для IBM 701. В декабре 1955 г. та же группа программистов, руководимая О. Мокком, инсталировала в IBM 701 систему «North American 701 Monitor»³, которую иногда называют первой операционной системой в компьютерах, хотя она еще только имела многие черты классической ОС [84].

¹ О характеристике аппаратуры того периода времени дает представление книга «Цифровая техника для вычислений и управления», вышедшая в ИЛ в 1960 г. (в открытом доступе) [14].

² РАСТ = Physical Access Control Terminals

³ Неслучайно в 70–80-е гг. операционную систему называли МОНИТОРОМ [2, с. 304].



Оуэн Мокк

Обычно говорится, что соединение усилий О. Мокка и Р. Патрика привело к появлению ОС. Сразу заметим, что О. Мокк и Л. Патрик напрямую не сотрудничали. Группой программистов в Исследовательской Лаборатории фирмы GM руководил в то время Джорж Ф. Рыкман (George F. Ruckman) [85].

Именно соединение усилий групп Рыкмана и Мокка по внедрению достижений Л. Патрика для компьютера IBM 704 и привело к созданию (1956) системы GM-NAA I/O, которая уже имела почти все атрибуты классической ОС [86].

Еще более близким к классической ОС был прототип ОС, созданный в 1957 г. компанией Bell Labs, названный BESYS (Bell Operating System). Ведущим участником проекта по созданию операционной системы BESYS был Виктор (Александрович) Высоцкий (Victor Vyssotski: 1930), сын русского эмигранта – астронома Александра Н. Высоцкого (1888–1973)¹. Система BESYS уже обладала возможностью исполнения задач с разделяемым временем на компьютерах IBM 7090 и IBM 7094.

Добавим, что позже идеи, реализованные в BESYS, послужили В. Высоцкому при создании под его руководством уже настоящей операционной системы (Multics) (см. далее § 22).

¹ Александр Николаевич Высоцкий родился в 1888 г. в Москве. Магистерский диплом (по астрономии) защитил в Московском университете. Участвовал в I Мировой войне, а затем в гражданской войне (в Армии генерала Деникина). Ушел с Белыми войсками в Константинополь, а затем в Бизерту (Тунис). Оттуда, через Францию эмигрировал в США. Заметка в немецком астрономическом журнале открыла А. Высоцкому возможность быть принятым на работу в Университет в Вирджинии, где он преподавал и работал в Астрономической обсерватории 35 лет. Через год после женитьбы А. Высоцкого в 1929 г. на своей ассистентке Э. Вильямс (Emma T. R. Williams) у них родился сын Виктор, ставший известным информатиком (подробнее см.: URL: <http://www.astro.virginia.edu/research/observatories/26inch/history/vyssotsky.php>).

Некоторые элементы системы BESYS, связанные с управлением памятью компьютера, оказались полезными В. Высоцкому в начале 60-х гг. при разработке (совместно с Роберто Моррисом старшим (Robert Morris Sr.: 1932–2011¹) и Дугом Макилроем (M. Douglas McIlroy: 1932)) компьютерной игры Darwin на выживание (на строго определенном участке памяти компьютера IBM 7090) нескольких программ (об этой игре см., например, [88]).

Поскольку каждой из программ-участниц разрешалось вносить строго определенные деструктивные изменения в код программы-противницы, то игра Darwin (получившая позже название «Ядерная война» (Core War)), послужила источником создания как различных компьютерных вирусов², так и первых анти-вирусных программ.

§ 22. Классические операционные системы

В 1960–1970 гг. и за рубежом, и в СССР были разработаны так называемые классические операционные системы, предоставлявшие следующие четыре возможности: а) *мультипрограммирование*, т. е. одновременная обработка двух и более заданий; б) *пакетная обработка*, т. е. обработка пакета заданий с учетом приоритетов и требуемых ресурсов; в) *разделение времени*, т. е. параллельная работа нескольких пользователей; г) *управление процессами*, т. е. параллельное выполнение пользовательских процессов.

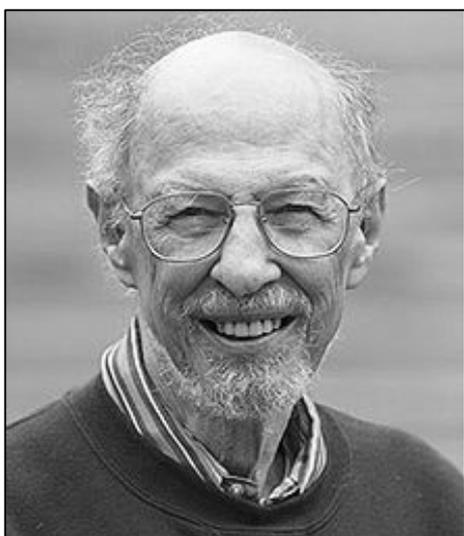
¹ Роберт Моррис (старший) родился в 1932 г. в Бостоне. Степень бакалавра по математике он получил в Гарварде в 1957 г., степень магистра по прикладной математике – там же годом позже. С 1960 по 1986 г. он работал в Bell Labs, помогая создавать системы безопасности для операционной системы Multics, а затем – UNIX. С 1986 по 1994 г. возглавлял в Национальном Агентстве Безопасности (NSA) Национальный Центр Компьютерной Безопасности. Основные его работы (в открытой печати) посвящены криптографии (Robert Morris. *Password security: A case history* // Computer Science Technical Report 71, Bell Laboratories, Murray Hill, NJ. April 1978).

² Например, Роберт Моррис мл. (Robert Tarran Morris: 1965), сын Р. Морриса (старшего), – создатель первого сетевого червя (1988) и первый обвиненный (1990) в акте злоупотребления компьютером. Ныне адъюнкт-профессор в MIT.

Первоначально каждая ОС была написана на языке ассемблера для отдельного семейства компьютеров. К ним относились зарубежные и отечественные ОС.

Из зарубежных классических ОС первой по времени считается **Atlas Operating System**, созданная на рубеже 50–60 гг. в университете Манчестера (Великобритания).¹ ОС Atlas была предназначена для компьютера Atlas – совместной разработки Университета Манчестера и двух фирм: Ferranti² и Plessey³, принятого в эксплуатацию в 1962 г.

Важной новинкой ОС Atlas была система управления памятью, которая использовалась и в создававшихся позже ОС.



Фернандо Корбатó

Чуть позже, чем ОС Atlas, стала доступной на бумажных носителях информация о ОС CTSS (Compactible Time-Sharing System)⁴, первый раз продемонстрированной Вычислительным центром MIT (Массачусетский Технологический Институт) в 1961 г. Операционная система CTSS была первой ОС с разделением времени. Одним из разработчиков CTSS был Фернандо Корбатó (Fernando Jose Corbató: 1926).

¹ Kilburn T., Howarth D. J., Payne R. B., Summer F. H. *The Manchester University Atlas Operating System, Part I: Internal Organization*. Comp. J. (October 1961).
Howard D. J., Payne R. B., Summer F. J. *The Manchester University Atlas Operating System, Part II: Users' Description*. Comp. J (October 1961).

² Компания Ferranti была британской компанией по производству электротехнического оборудования (военная электроника) и компьютерной техники. В 1951 г. произвела один из первых коммерческих компьютеров Ferranti Mark 1. Обанкротилась и прекратила существование в 1993 г.

³ Plessey была известной международной оборонной телекоммуникационной компанией, базирующейся в Великобритании и специализирующейся на производстве военной электроники. Исчезла с рынка в 1989 г.

⁴ Corbato F. J., Daggett M. M., Daley R. C. *An Experimental Time-Sharing System*. IFIPS, 1962.

Следующей по времени создания ОС считается ОС **THE** (Technische Hogeschool Eindhoven) – мультипрограммная ОС, созданная в Высшей Технической Школе Эйндховена (Нидерланды) под руководством Эдсгера Дейкстры (Edsger Wybe Dijkstra: 1930–2002). Фактически ОС THE была создана в 1965–1966 гг., но первая публикация о ней появилась только в 1968 г.¹



П. Бринч Хансен

Операционная система THE была предназначена для использования на платформе Electrologica X8.

В 1964–1965 гг. в Калифорнийском университете (Беркли) в рамках проекта «ДЖИН» (Project Genie) создавалась операционная система **SDS² 940³** с разделением времени. В 1966 г. она была анонсирована, а после ее приобретения в 1969 г. фирмой Хегох получила название **XDS 940**. При этом в XDS 940 отчетливо чувствовалось влияние системы **NLS⁴**, созданной в Стэнфордском Исследовательском Институте (SRI) к декабрю 1968 г.



Эдсгер Дейкстра

¹ Dijkstra E. W. *The structure of the «THE» – multiprogramming system* // Communications of the ACM. – 1968. – No. 11(5). – P. 341–346.

² SDS = Scientific Data Systems.

³ *SDS 940 Time-Sharing System Technical Manual*. – Santa Monica, California: Scientific Data Systems, 1967.

⁴ Создателем системы NLS (oN-Line System) был известный американский ученый и изобретатель Даг Энгельбарт (Douglas Carl Engelbart: 1925), творец компьютерной мыши, гипертекстов, интерактивного вычисления (см. далее с. 223).

В 1969 г. появилась еще одна классическая мультипрограммная ОС, названная **RC 4000**, более известная как система **Monitor**. Создавалась она специально для миникомпьютеров. Основным разработчиком ОС Monitor был датско-американский ученый Пер Бринч Хансен (Per Brinch Hansen: 1938–2007)¹.

Остановимся теперь подробнее на ОС, которая, хотя и не стала коммерчески успешной, но повлияла на многие последующие ОС – это ОС Multics (Multiplexed Information and Computing Service).

В разработке ОС Multics первоначально (с 1964 г.) участвовали GE, MIT и Bell Labs. Фирма General Electric (GE) предполагала, что Multics станет коммерческим продуктом, и она им стала, но она не стала успешным продуктом, хотя система была весьма удобна в эксплуатации за счет модульной поддержки – ее вычислительные возможности можно было увеличивать простой заменой модулей: центрального процессора, памяти и т. д. Удобным было также то, что списки доступа к файлам для каждого пользователя были отдельными.

Multics стала одной из первых ОС, в которой была реализована плоская модель хранения данных. В ней также была реализована идея динамического связывания исполняемой программы с библиотеками кода. Multics – одна из первых ОС, которая могла работать на многопроцессорных компьютерах, а введение встроенной поддержки привилегий пользователей на доступ к данным и программам обеспечило этой ОС, одной из первых, защиту от взломов.

Отметим еще, что Multics была написана на языке PL/1. Руководителем проекта по созданию ОС Multics до выхода компании Bell Labs из проекта в 1969 г. был В. А. Высоцкий. Неудивительно поэтому, что многие идеи, заложенные в BESYS, были

¹ Brinch Hansen, Per. *The Nucleus of a Multiprogramming Operating System* // Communications of the ACM. – 1970. – No. 13 (4). – P. 238–250.

реализованы и в Multics. Однако основным разработчиком ОС Multics был профессор МІТ Фернандо Корбатó¹. Добавим, что несколько человек (в их числе был и Кен Томпсон), разрабатывавших систему Multics, позже перешли к созданию системы UNIX².

Последняя ОС, о которой будет идти речь в этом параграфе, это OS/360 (Operating System/360), создававшаяся в 1964–1972 гг. фирмой IBM для серии своих компьютеров S/360. Для обеспечения совместимости всей линейки компьютеров (S/360) в IBM впервые была применена технология микрокода. К OS/360 была добавлена виртуальная память.

Фернандо Корбатó родился в 1926 г. в Окленде (Калифорния).

В 1950 г. получил степень бакалавра в Калифорнийском Технологическом Институте. Докторскую диссертацию по физике он защитил в МІТ в 1956 г.

В начале 60-х гг. Ф. Корбатó был разработчиком ОС CTSS. Но главным его детищем (совместно с В. А. Высоцким) была ОС Multics. Звание профессора МІТ по компьютерным наукам он получил в 1965 г. В 1990 г. Ф. Корбатó был удостоен премии им. Тьюринга [90].

Эдсгер Дейкстра родился в 1930 г. в Роттердаме (Нидерланды). Изучал теоретическую физику в Лейденском университете.

¹ Corbato F. J., Vyssotsky V. A. *Introduction and Overview of the Multics System* / AF IPS Conference Proceedings, 27 (1965). – Washington D.C.: FJCC Spartan Books, 1965. – P. 202–212 (см. также: [89]).

² Название UNIX (первоначально Unics) образовано от Multics (UNIX = Uniplexed, Multics = Multiplexed).

Однако достаточно быстро его интересы сместились в сторону компьютерных наук. Первоначально Э. Дейкстра работал в Математическом Центре в Амстердаме. Позже он получит должность профессора в Технологическом университете Эйнховена.

В 1959 г. в первом номере журнала *Numerische Mathematik* была опубликована статья Э. Дейкстры [91], посвященная решению задачи нахождения кратчайшего пути на ориентированном графе. Алгоритм решения этой задачи нашел широкое применение и получил название алгоритма Дейкстры. Э. Дейкстра был горячим сторонником и пропагандистом языка ALGOL. Ему же принадлежит определение (1968) и развитие понятия структурного программирования. Под его руководством создавалась и операционная система TNE.

С 1984 по 2000 г. Э. Дейкстра возглавляет все научные работы по компьютерным наукам в Университете штата Техас в Остине (см. [92]).

Э. Дейкстра имел много различных наград, в их числе еще в 1972 г. он был награжден премией им. Тьюринга за фундаментальный вклад в развитие языков программирования. Практически сразу после его смерти в 2002 г. была учреждена ежегодная премия им. Э. Дейкстры.

Пер Бринч Хансен родился в 1938 г. в Копенгагене. Там же в 1957 г. закончил учебу в гимназии Св. Йоргенса и поступил в Датский Технический университет. После получения в 1963 г. степени магистра по электро-инженерии работает в компьютерной компании *Regnesentralen* вначале в составе группы, а позднее как главный архитектор миникомпьютера RC 4000 и создатель **ОС RC 4000**. В 1970 г. Пер Бринч Хансен переезжает в США. В течение 2-х лет он является научным сотрудником в CMU (Car-

negie Mellon University), а затем, до 1984 г., преподает в различных вузах Калифорнии (с 1976 г. уже как профессор). В этот период он создает и развивает новое направление в программировании Concurrent Programming¹.

На три года (1984–1987) П. Бринч Хансен возвращается в Данию и преподает в Университете Копенгагена, но позже вновь едет в США профессором частного Университета в Сиракузах (штат Нью-Йорк), где и преподает до самой смерти в 2007 г. (см. [93]).

П. Бринч Хансен был отмечен многими наградами, в частности, в 2002 г. он был удостоен премии «Computer Pioneer» за работу над ОС RC 4000, ОС Monitors и языком Concurrent Pascal.

§ 23. Мобильные операционные системы

В предыдущем параграфе уже отмечалось, что ОС Multiks не стала успешным коммерческим проектом. Основная причина, кроме недостатков самой операционной системы, заключалась в том, что Multiks создавалась для одной системы компьютеров.

Требовалось создать такую ОС, которую можно было бы использовать для нескольких семейств компьютеров путем **переноса** их кода, т. е. сделать операционную систему **мобильной**.

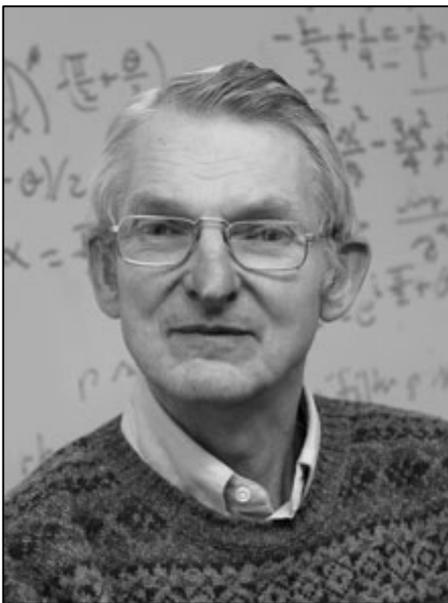
Эту идею реализовал в 1969 г. Кен Томпсон, работавший до этого над Multiks. Помогали ему Денис Ритчи (о Томпсоне и Ритчи шла уже речь в главе IV) и Брайан Керниган (Brian Kernighan)², придумавший для новой операционной системы

¹ В 1977 г. выходит его первая в мире монография на эту тему: Brinch Hansen, Per. *The Architecture of Concurrent Programs*. – Prentice-Hall, 1977. – P. 317.

² Б. Керниган родился в 1942 г. в столице Канады г. Торонто. Учился в университетах Торонто и Принстона. В последнем защитил докторскую диссертацию по компьютерным наукам. Кроме участия в создании ОС Unix, прославился соучастием в создании языков программирования AWK и AMPL, а



Брайан Керниган



Дуглас Макилрой

название UNICS (Uniplexes Information and Computing System), сокращенное позже до UNIX.

После ухода в 1965 г. В. Высоцкого с поста руководителя подразделения по исследованию вычислительной техники МИТ этот пост занимал до 1986 г. Дуглас Макилрой¹. Основной задачей, решаемой этим подразделением с 1969 г., становится разработка операционной системы UNIX и *UNIX-подобных* систем. Лично Д. Макилрою, кроме руководства подразделением, принадлежит идея создания в UNIX-подобных системах, так называемой, «UNIX-трубы» (UNIX-pipeline) – аналога (для потока стандартных процессов) на ориентированной сети модели «вход-выход».

Операционная система UNIX, как и система Multiks, была написана не на ассемблере, а на языке высокого уровня². Так же как в Multiks, в системе UNIX файловая система была иерархической с произвольной глубиной вложенности. При этом для настройки и управ-

также написанием вместе Д. Ритчи первой книги о языке Си [32]. До 2012 г. был профессором Принстонского университета по компьютерным наукам.

¹ Дуглас Макилрой родился в 1932 г. Степень бакалавра по инженерной физике получил в 1954 г. в Корнелльском университете, а докторскую диссертацию по прикладной математике защитил в МИТ в 1959 г.

Сотрудничал с Bell Labs с 1958 по 1997 г. После 1976 г. получил известность как соавтор первого неэвристического алгоритма Ханта-Макилроя (сравнения файлов) (см. [94]).

² Первые версии UNIX, написанные Кеном Томпсоном, еще не имели компилятора с языком высокого уровня и были написаны на ассемблере.

ления системой использовались простые файлы. Особенностью UNIX, как и UNIX-подобных систем, является широкое применение утилит, запускаемых в командной строке.

Другой особенностью системы UNIX является взаимодействие с пользователем посредством виртуального устройства – терминала.

Впервые исходная система UNIX стала применяться в 1970 г. в миникомпьютере PDP-10 [29].

В 1975 г. была создана фирма Microsoft¹, которая вышла в 1981 г. на рынок с продуктом ОС MS-DOS. Эта операционная система была предназначена для персональных компьютеров с процессорами INTEL 8086. Хотя в MS DOS ощущалось влияние UNIX, но она не была еще мобильной ОС. Создателем MS DOS был Тим Петерсон (Tim Paterson: 1956), как и учредители Microsoft, начавший учебу в школе Сиэтла². Заметим, что первая версия MS-DOS содержала



Пол Аллен



Билл Гейтс

¹ Создание компании Microsoft фактически началось с разработки для персонального компьютера Altair 8800 интерпретатора языка Basic двумя студентами Гарварда, знакомыми со школьных лет и увлекавшихся программированием, Биллом Гейтсом (William Henry Gates III: 1955) и Полом Алленом (Paul Gardner Allen: 1953). Название компании предложил Билл Гейтс (Microsoft = MICROcomputer SOFTware). В 1983 г. П. Аллен покинул Microsoft, сохранив часть акций, что позволило ему, как и Б. Гейтсу, стать миллиардером [95].

² Т. Патерсон учился вначале в Seattle Public Schools, а затем в Ingraham High School. По ее окончании (1974) учился в Университете штата Вашингтон, ко-



Стив Джобс

множество ошибок, которые пришлось исправлять программистам IBM, поскольку Microsoft передала IBM лицензию на эту систему в декабре 1980 г.

Весной 1976 г. была основана компания Apple Computer. Ее основали Стив Джобс (Steven Paul Jobs: 1955–2011)¹, Стив Возняк (Stephen Gary Wozniak: 1950) и Рональд Уэйн

(Ronald Gerald Wayne: 1934), но последний продал свои 10 % акций через 2 недели после основания компании.

Само основание компании Apple Computers опиралось на

торый закончил в 1978 г. с отличием по специальности «Компьютерные науки». Занимается созданием программного обеспечения для разных фирм.

¹ Стив Джобс родился (в 1955 г. в Сан-Франциско) в семье студентов (сирийца Абдулфатта Джандали и американки Джоан Шибле). Поскольку родители Джоан были против этого брака, то ей пришлось отдать сына на усыновление. Усыновили его Пол Джобс и Клара Агапян, давшие при усыновлении письменное обязательство дать сыну образование не ниже колледжа, хотя сами высшего образования не имели.

В школе (в южном пригороде Лос-Анджелеса) С. Джобс познакомился с ее выпускником Стивом Возняком, который также как и Джобс, увлекался компьютерами. По окончании школы (1972) С. Джобс поступил в Рид-колледж, один из самых дорогих частных университетов Америки. На его учебу ушли почти все деньги, собиравшиеся родителями 17 лет. Проучившись полгода в колледже, С. Джобс бросил учебу и стал работать техником в фирме Atari, производившей видеоигры. Попав однажды в Пало-Альто в «Клуб изготовленных кустарно компьютеров», организовавшийся в марте 1975 г., где С. Возняк, к тому времени поучившийся в университетах Колорадо и Калифорнии, хотя из-за нехватки денег их не закончивший, продемонстрировал изготовленный им компьютер, названный позже Apple 1, С. Джобс загорелся идеей начать выпуск этого компьютера. Для этой цели он организует компанию Apple Computer. Юридические документы, включая устав компании, помог оформить Рональд Уэйн (р. 1934), опытный работник электронной промышленности. Так, 1 апреля 1976 г. возникла компания, оцениваемая на фондовой бирже как одна из самых дорогих компаний мира, а ее основатели (кроме Р. Уэйна) стали миллиардерами [96].

созданный С. Возняком компьютер, названный Apple 1. Позже коммерческий успех компании принес персональный компьютер Apple 2. К тому времени компания Apple Computers была (1977) преобразована в корпорацию Apple.

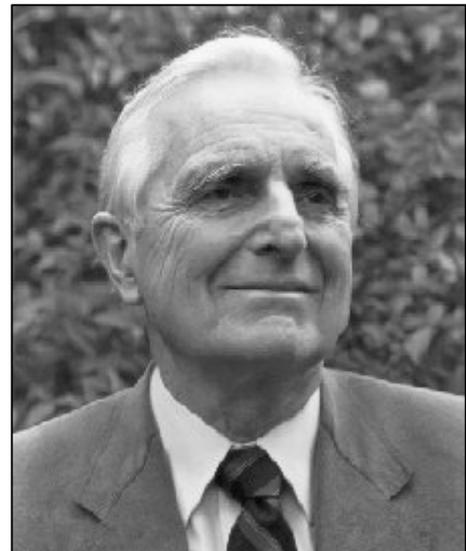
В 1984 г. корпорация Apple выпустила на рынок компьютер Macintosh с операционной системой System 1. При этом пользователи впервые получили возможность использовать компьютерный манипулятор – мышь. (Напомним, что изобретателем мыши является Дуглас Энгельбарт¹ (Douglas Carl Engelbart: 1925) (см. § 22)).

Версия ОС System 7.6 и все последующие получили название Mac OS (Macintosh Operating System). Отметим, что Mac OS для представления и организации информации стала использовать графический пользовательский интерфейс (graphical user interface (GUI), в частности *окна меню, иконки*).

В 1986 г. компания Microsoft разработала графическую оболочку Windows над операционной системой MS-DOS. Эта оболочка еще не была операционной системой, но уже Windows 3.x (1991) и последующие были операционными системами.



Стив Возняк



Дуглас Энгельбарт

¹ Дуглас Энгельбарт родился в Портленде (штат Орегон) в 1925 г. в семье эмигрантов из Германии и Швеции, учился в коллеже Штата Орегон (бакалавр электрической инженерии), участвовал во II Мировой войне, обслуживая радары Военно-морского флота США, докторскую диссертацию защитил в Беркли. Награжден премией им. Тьюринга и премией им. Винера, а также медалью Ады Лавлейс [97].



Ричард Столлмэн

В сентябре 1983 г. Ричард Столлмэн¹ (Richard Matthew Stallman: 1953), выпускник Гарварда и MIT, анонсировал проект создания свободной UNIX-подобной операционной системы без использования оригинального исходного кода. Этот проект получил название GNU.

Через 8 лет, т. е. в 1991 г., молодой финский программист Линус Торвальдс (Linus Benedict Torvalds: 1969) решил улучшить свободную ОС Minix (из семейства UNIX-подобных), написанную профессором Эндрю Таненбаумом² (Andrew Stuart Tanenbaum: 1944) для студенческих лабораторий.

17 сентября 1991 г. Л. Торвальдс³ выложил исходный код программы (ядро⁴ Linux) для общедоступной загрузки.

¹ Ричард Столлмэн родился в 1953 г. в г. Нью-Йорке. С компьютерами фирмы IBM познакомился еще в средней школе. Учился в Гарварде, где получил (1974) степень бакалавра физики с отличием (*magna cum laude*). Одновременно (с 1971 г.) стал работать в лаборатории искусственного интеллекта MIT. Именно в MIT Р. Столлмэн получает степени магистра и Ph.D. по физике. Работая в лаборатории ИИ в MIT, Р. Столлмэн рано прославился как хакер, легко взламывая пароли. Через два года после анонсирования проекта GNU, т. е. в 1985 г., Р. Столлмэн публикует GNU-манифест, где он подробно излагает причины создания открытой операционной системы. В октябре 1985 г. он основывает Free Software Foundation и становится ее президентом [98].

² Эндрю Таненбаум, американский ученый, работающий с 1971 г. в Нидерландах. Он родился в Нью-Йорке в 1944 г. Степень бакалавра физики получил в 1965 г. в MIT, а доктора физики – в 1971 г. в Беркли в Калифорнийском университете [99].

³ Линус Торвальдс родился в 1969 г. в Хельсинки. В 1988 г. поступил в университет в Хельсинки, получив в 1996 г. степень магистра кибернетики. С февраля 1997 г. живет в Портленде (США). В 1997–2003 гг. работал программистом компании Transmeta Corporation. В 2003 г. организовал компанию Open Source Development Labs. С 2007 г. работает в компании The Linux Foundation, продолжая разработку ядра Linux.

⁴ Напомним, что *ядро операционной системы* – это ее центральная часть, управляющая выполнением процессов, ресурсами вычислительной системы и предоставляющая процессам координированный доступ к этим ресурсам [66].

Тысячи программистов стали интересоваться этой системой и работать над ее улучшением. При этом добровольные помощники Л. Торвальдсена использовали инструменты, созданные в рамках проекта GNU.

Так возникла свободная операционная система, известная как ОС GNU/Linux [100].

Говоря об операционных системах, не нужно забывать, что самыми распространенными в мире сейчас являются специализированные ОС для мобильных телефонов, смартфонов и коммуникаторов – это ОС семейства Symbian и операционная система Google Android.



Эндрю Таненбаум



Линус Торвальдс

§ 24. Отечественные операционные системы

Если говорить об отечественных операционных системах, то мы ограничимся ОС, созданными для БЭСМ-6 и многопроцессорных вычислительных комплексов Эльбрус-1 и Эльбрус-2. Разумеется, были и другие ОС, создававшиеся для вычислительных машин специального назначения. Кроме того, адаптация ОС OS/360 для модельного ряда ЕС фактически привела к появлению новой операционной системы.



Сеймур Крэй



В. Ф. Тюрин

В 1965 г. в СССР была завершена разработка первой советской супер-ЭВМ БЭСМ-6 на полупроводниковых транзисторах с быстродействием около 1 млн операций в секунду¹. Порядок быстродействия американской системы CDC 6600², выпускавшейся с 1964 г., был примерно таким же – 3 млн операций в секунду.

Для БЭСМ-6 требовалась своя операционная система. Ее удалось разработать (и внедрить) только к 1971 г. под руководством В. Ф. Тюрина.

Эта операционная система получила название ДИСПАК. ОС ДИСПАК могла работать в пакетном, диалого-пакетном и реальном режимах.

Уже через год (1972) модернизация ОС ДИСПАК позволила ее децентрализовать, т. е. сделать пригодной для многомашинных комплексов с общей внешней памятью на магнитных дисках, поскольку еще в 1971 г. В. Ф. Тюриным были разработаны для БЭСМ-6 программные средства для подключения магнитных дисков [102].

¹ Главным конструктором БЭСМ-6 был Сергей Алексеевич Лебедев (1902–1974) (о его биографии см.: [103], а также [1, с. 54–62]).

² Создателем компьютера CDC 6600 был «отец» суперкомпьютеров американский ученый и инженер Сеймур Крэй (Seymour Rodger Cray: 1925–1996) [101].

В 1976 г. им была закончена и внедрена ОС для сети ЭВМ институтов АН СССР, позволявшая работать на любой ЭВМ и любом ее терминале в автоматическом режиме. Это был весьма важный шаг к созданию операционных систем многомашинных вычислительных комплексов Эльбрус-1-К2 и Эльбрус-1-КБ.

Отметим, что уже в 1978 г. в Эльбрус-1 использовался процессор с выдачей двух команд за один такт. Подобные процессоры появились на Западе только в 1991 г. – это так называемые EPIC-процессоры (сокр. от *Explicitly Parallel Instruction Computing*).

Добавим, что архитектура у Эльбруса 1 отличалась от большинства существовавших – она использовала *теги*, т. е. коды типа данных, хранящихся в каждом слове памяти, по которым аппаратура контролировала правильность выполнения операции.

Операционная система «Эльбрус» поддерживала создание процессов (и операций над ними), которые позже на Западе назовут multi-threading (многопоточность) [66, с. 42–43; 1, с. 67].

Отметим, что на основе инструментальной платформы Linux в России к началу нулевых годов XXI в. появились и отечественные ОС, в частности ОС 2000, МСВС 3.0 и другие. Правда, при этом аппаратная платформа у них, чаще всего, – процессоры Intel.

Владимир Федорович Тюрин родился в 1937 г. в совхозе «Путь Октября» Кизильского района Челябинской области. В 1960 г. окончил физико-математический факультет Уральского госуниверситета (в г. Свердловске – ныне Екатеринбург). Защитил кандидатскую диссертацию «Операционная система ДИС-ПАК» в 1972 г. Доктором технических наук стал в 1984 г. Профессор МГУ им М. В. Ломоносова (кафедра Автоматизации Систем Вычислительных Комплексов факультета ВМиК), лауреат премии Совета Министров СССР (1991).

Заключение

История компьютерных наук фактически пишется на наших глазах, и число её творцов непрерывно растёт, пополняясь не только представителями Северной Америки, Западной Европы, но и Китая, Японии, Южной Кореи, Индии, Австралии и Сингапура. Впрочем, появление в России крупных научных подразделений фирм Microsoft, Intel, Motorola, Google и других, а также развитие компьютерных исследований в Сарове и Снежинске, вселяют надежду, что не только выходцы из России, но и живущие в ней, оставят значимый след в развитии компьютерных наук.

Упражнения

1. Дайте определение *тупика* (deadlock). Приведите 4 условия возникновения тупика. Дайте определение *графа распределения ресурсов* и приведите пример такого графа с двумя тупиками.
2. Дайте определение *страничной организации* (paging). Каково значение бита valid-invalid? Что такое *файл откачки*? Реализуйте *алгоритм компактировки основной памяти*.
3. Какие режимы доступа в UNIX вы знаете? Что такое *точка монтирования*?
4. Дайте определение *виртуальной файловой системе* (VFS). Что такое NFS?
5. На чем основана система *ввод-вывод с прямым доступом к памяти* (DMA)? Чем различаются *синхронный и асинхронный ввод-вывод*?
6. Дайте определения *сетевых и распределенных ОС*. В каких сетях используются *коммуникационные процессоры*? Что такое *Кембриджское кольцо*?
7. Что такое «*брандмауэр*»? Что такое *SSL*? Что такое *вход в ловушку*?

Список литературы

Основной

- [1] Одинец В. П. *Зарисовки по истории компьютерных наук : учебное пособие* : в 3 ч. – Сыктывкар : Коми пединститут, 2011. – Часть I. – 200 с.
- [2] Пярнпуу А. А. *Программирование на современных алгоритмических языках*. – Изд. третье. – М. : Наука, 1990. – 384 с.
- [3] Николов Р., Сендова Е. *Начала информатики. Язык Лого* / пер. с болг. – М. : Физматлит., 1989. – 176 с.
- [4] Турчин В. Ф. *Алгоритмический язык рекурсивных функций (РЕФАЛ)*. – Препринт № 4. – М. : ИПМ АН СССР, 1968.
- [5] Russell B. *The principles of mathematics*. – Cambridge : University Press, 1903. – Vol. 1. – 534 p.
- [6] Клини С. *Введение в метаматематику*. – М. : ИЛ, 1957. (Пер. с англ.: Kleene S. K. *Introduction to Metamathematics*. – Amsterdam : D. van Nostrand, 1952).
- [7] Chomsky N. *Syntactic Structures*. – Hague-Paris: Mouton, 1957. – 117 p.
- [8] Chomsky N. *Aspects of the Theory of Syntax*. – Cambridge (Massachusetts) : MIT Press, 1965. – 261 p.
- [9] Криницкий Н. А., Миронов Г. А., Фролов Г. Д. *Программирование и алгоритмические языки*. – М. : Наука, 1975. – 496 с.
- [10] Ляпунов А. А. *О логических схемах программ* // Труды третьего Всесоюзного Математического съезда. – М. : Изд-во АН СССР, 1956. – Т. 1. – С. 193.
- [11] Янов Ю. И. *О логических схемах алгоритмов* // Проблемы кибернетики. – М. : Физматгиз, 1958. – Вып. 1. – С. 29–53.
- [12] Криницкий Н. А. *Язык логических схем* // Цифровая вычислительная техника и программирование. – М. : Сов. Радио, 1966. – Вып. 1.

- [13] Ляпунов А. А. *К алгебраической трактовке программирования* // Проблемы кибернетики. – М. : Физматгиз, 1962. – Вып. 8. – С. 235–241.
- [14] Клейн М. Л., Морган Г. С., Аронсон М. Г. *Цифровая техника для вычислений и управления* / пер. с англ. – М. : ИЛ, 1960. – 386 с.
- [15] Юров В., Хорошенко С. *Assembler* : учебный курс. – СПб. : Питер, 1999. – 672 с.
- [16] Кип Ирвин. *Язык ассемблера для процессоров Intel* / пер. с англ. – М. : Вильямс, 2005. – 912 с.
- [17] Зубков С. В. *Ассемблер для DOS, Windows и UNIX*. – М. : ДМК Пресс; СПб. : Питер, 2006. – 608 с.
- [18] Backus J. W. *The History of Fortran I, II, and III* // Annals of the History of Computing. – Vol. 1. – No. 1 (July-September 1979).
- [19] Campbel-Kelly M. *Obituary: John Backus (1924–2007): Inventor of science's most widespread programming language, Fortran* // Nature journal. – Vol. 446. – No. 7 (April 2007). – P. 998.
- [20] Wijngaarden van A. *Programmeren voorautomatische rekenmachines*. – Amsterdam : Mathematisch Centrum, 1956.
- [21] Alberts G. *Adriaan van Wijngaarden (1916–1987)*. – Biografisch Woordenboek van Nederlandse Wiskundigen, 2006 (BWNW).
- [22] Дубинина Л. Г., Жимулев И. Ф. *К 50-летию «Письма трехсот»* // Вестник ВОГиС. – 2005. – Т. 9. – № 1. – С. 12–33.
- [23] Zuse K. *Über den allgemeinen Plankalkül als Mittel zur Formulierung schematisch-kombinativer Aufgaben* // Arch. Math. – 1 (1948/49). – S. 441–449.
- [24] Zuse K. *Der Plankalkül* / Gesellschaft für Mathematik und Datenverarbeitung // BMBW – GMD. – № 63 (1972).
- [25] Баранов С. Н., Ноздрунов Н. Р. *Язык Форт и его реализации*. – Л. : Машиностроение, 1988. – 157 с.
- [26] Броуди Л. *Начальный курс программирования на Форте* / пер. с англ.; предисл. И. В. Романовского). – М. : Финансы и статистика, 1990. – 352 с.

- [27] Йенсен К., Вирт Н. *Паскаль. Руководство для пользователя. Описание языка.* – М. : Финансы и статистика, 1982. – 15 с.
- [28] Wirth N., Weber H. *EULER: a generalization of ALGOL and its formal definition: Part I* // Communications of the ACM. – No. 9 (1). – 1966. – P. 13–25.
- [29] Wirth N., Weber H. *EULER: a generalization of ALGOL, and its formal definition: Part II* // Communications of the ACM. – No. 9 (2). – 1966. – P. 89–99.
- [30] Вирт Н. *Программирование на языке Модула-2.* – М. : Мир, 1987. – 224 с.
- [31] Richards M. *The BCPL Reference Manual.* – Memorandum M-352, Project MAC. – Cambridge, July 1967.
- [32] Kernighan B. W., Ritchie D. M. *The C Programming Language.* Englewood Cliffs, NJ : Prentice Hall, 1978. (Русск. пер.: Керниган Б., Ритчи Д. *Язык программирования Си.* – М. : Вильямс, 2007. – 304 с.)
- [33] Страуструп Б. *Язык программирования C++.* – Специальное изд. – М. : Бинوم-Пресс, 2007. – 304 с.
- [34] Reiser M., Wirth N. *Programming in Oberon: steps beyond Pascal and Modula.* – NY : ACM Press, 1992.
- [35] Böszörményi L., Gutknecht J., Pomberger G. (Eds). *The School of Niklaus Wirth: The Art of Simplicity.* – Morgan Kaufman Publishers, 2000.
- [36] Роббинс А. *Unix : справочник / пер. с англ.* – М. : КУДИЦ-ПРЕСС, 2007. – 864 с.
- [37] Ritchie D. *Ken, Unix and Games* // ICGA Journal. – 2001. – 24 (2).
- [38] Condon J. H., Thompson K. *Belle Chess Hardware / In Advances in Computer Chess 3.* – Pergamon Press, 1982.
- [39] Вольфенгаген В. Э. *Методы и средства вычислений с объектами. Аппликативные вычислительные системы.* – М. : JurInfoR, Ltd., АО «Центр ЮрИнфоР», 2004. – XVI + 789 с.
- [40] McCarthy J., Brayton R., Edwards D., Fox P., Hodes L., Luckham D., Maling K., Park D. et al. *LISP I Programmers Manual.* –

Boston, Massachusetts : Artificial Intelligence Group, MIT Computation Center and Research Laboratory, 1960.

[41] Hewitt C. *PLANNER: A Language for Proving Theorems in Robots*. – IJCAI'69, 1969.

[42] Маслов С. Ю. *Обратный метод установления выводимости для непредваренных формул исчисления предикатов* // ДАН СССР. – 1967. – № 1. – С. 22–25.

[43] Milner R., Tofte M., Harper R. *The Definition of Standard ML*. – MIT Press, 1990.

[44] Horn A. *On sentences which are true of direct unions of algebras* // Journal of Symbolic Logic. – 1951. – No. 16. – P. 14–21.

[45] Адаменко А., Кучуков А. *Логическое программирование и Visual Prolog (с CD)*. – СПб. : БХВ-Петербург, 2003. – 990 с.

[46] Kowalski R. A. *The early years of logic programming* // Communications of the ACM. – 1988. – No. 31. – P. 38.

[47] Colmerauer A., Roussel P. *The birth of Prolog* // ACM SIGPLAN Notice. – 1993. – 28 (3). – P. 37.

[48] Dahl O-J., Myrhaug B., Nygaard K. *Common Base Language*. – Norwegian Computing Center, 1970.

[49] Грэхем И. *Объектно-ориентированные методы. Принципы и практика*. – М. : Вильямс, 2004. – 880 с.

[50] Knuth D. E. *Structures Programming with go to Statements* // Computing Surveys. – Vol. 6. – No. 4 (1974). – 292 p.

[51] Кирютенко Ю. А., Савельев В. А. *Объектно-ориентированное программирование. Язык Smalltalk*. – М. : Вузовская книга, 2007. – 328 с.

[52] Эккель Б. *Философия Java*. – СПб. : Питер, 2003. – 976 с.

[53] Хорстман К. С., Корнелл Г. *Java 2. Библиотека профессионала*. – М. : Вильямс, 2008. – Т. 1. Основы. – 816 с.

[54] Хорстман К. С., Корнелл Г. *Java 2. Библиотека профессионала*. – М. : Вильямс, 2008. – Т. 2. Тонкости программирования. – 992 с.

[55] Монахов В. *Язык программирования Java и среда Netbeans*. – 3-е изд. – СПб. : БХВ-Петербург, 2011. – 704 с.

- [56] Кузнецов С. Д. *Основы баз данных: учебное пособие*. – 2-е изд., испр. – М. : Интернет-Университет Информационных Технологий; БИНОМ, Лаборатория знаний, 2007. – 484 с.
- [57] Гарсиа-Молина Г., Ульман Дж., Уидом Дж. *Системы баз данных. Полный курс*. – М. : Вильямс, 2003. – 1088 с.
- [58] Fisher L. M. *Reynold Johnson, 92, Pioneer in Computer Hard Disk Drives* // The New York Times. – 1998. – September 18.
- [59] Bachman Ch. W. *The Role Data Model Approach to Data Structures* // International Conference on Date Base (ICOD). – 1980. – March 24. – P. 1–18.
- [60] Codd E. F. *A Relation Model of Date for Large Shared Data Banks* // Communication of the ACM. – 1970. – No. 13 (6). – P. 377–387.
- [61] Date C. J., Darwen H. *A Guide to the SQL Standard*. – 4th ed. – Addison-Wesley, 1997. – 522 p.
- [62] Selinger P. G., Astrahan M. M., Chamberlin D. D., Lorie R. A. *Access Path Selection in a Relational Database Management System* // Proceedings of the 1979 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data. – P. 23–34.
- [63] Stonebraker M. *The Ingres Papers: Anatomy of Relational Database System*. – Boston : Addison- Wesley, 1985. – 463 p.
- [64] Stonebraker M., Moor D. *Object-Relational DBMSs: The Next Great Wave*. – Walthem : Morgan Kaufmann Publishers, 1996. – 207 p.
- [65] Rubinstein S. *Edgar Codd – computer pioneer in database* // San Francisco Chronicle. – 2003. – 24 Apr.
- [66] Сафонов В. О. *Основы современных операционных систем*. – М. : Национальный открытый ун-т «ИНТУИТ». Лаборатория знаний, 2011. – 584 с.
- [67] Hollebeek R., Schnall M., Beckerman B. *NSF Workshop on New Visions for Large Scale Networks: Research and Applications* // Petabyte Scale Radiology Archiving and Retrieval. – 2001. – Mar.
- [68] Уолл Л., Кристиансен Т., Орвант Д. *Программирование на Perl*. – М. : О’Reilly, Символ. – 2008. – 1145 с.

[69] Koster M. *Aliweb – Archie-Like Indexing in the Web* / List of Post-Script files for the WWW94 advance proceedings/ First International Conference on the World Wide Web (June 1994). – Geneva (Switzerland) : Postscript, Size: 213616. – 10 p.

[70] Eichmann D. *The RBSE spider: balancing effective search against Web load* / In Proceeding of the First World Wide Web Conference. – Geneva (Switzerland), 1994. – P. 67–79.

[71] Ray E. J., Ray D. S., Selzer R. *The AltaVista Search Revolution*. – 2nd ed. – Osborn : McGraw-Hill, 1998.

[72] Колисниченко Д. Н. *Поисковые системы и продвижение сайтов в Интернете*. – М. : Диалектика, Вильямс, 2007. – 272 с.

[73] АГАМА / IT InfoArt Stars: сайт. URL: <http://infoart.udm.ru/company/agama/index.htm> (дата обращения 20.08.2012)

[74] *История Яндекса*: сайт. URL: <http://company.yandex.ru/about/history/> (дата обращения 20.08.2012)

[75] *Нигма.РФ*: сайт. URL: <http://нигма.рф> (дата обращения 20.08.2012)

[76] Бондаренко С., Бондаренко М. *Quintura Search: уникальная программа для поиска в Интернете*: сайт. URL: <http://www/3dnews.ru/software/quintura/print> (дата обращения 20.08.2012)

[77] Selberg E., Etzioni O. *Multi-Service Search and Comparison using the MetaCrawler* / In Proceedings of the 4th International World-Wide Web Conference. – Geneva (Switzerland), 1995. – P. 195–208.

[78] Kobayashi M., Takeda K. *Information retrieval on the web* // ACM Computing Surveys (ACM Press). – 2000. – No. 32 (2). – P. 144–173.

[79] Brin S., Page L. *The Anatomy of Large-Scale Hypertextual Web Search Engine*. – Computer Networks and ISDN Systems. – 1998. – V. 30. – No. 3. – P. 107–117.

[80] Страница памяти Дмитрия Крюкова на сайте компании «Стек Групп» : сайт. URL: <http://www.stack.net/krukov.html>

[81] Google Corporate History (official) : сайт. URL: <http://www.google.com/intl/en/corporate/history.html> (дата обращения 20.08.2012)

- [82] Stross R. *Planet Google: One Company's Audacious Plan to Organize Everything We Know*. – New York : Free Press, 2008.
- [83] Haygh T. *Patric (Robert L.). Oral history (227)*. – Mountain View (California): Computer History Museum, 2006. – 139 p.
- [84] Mock O. R. *Logical Organization of the PACT I Compiler // J. ACM*. – 1956. – Vol. 3. – No. 4. – P. 279–287.
- [85] Ryckman G. F. *The IBM 701 Computer at the General Motors Research Laboratories // IEEE Annals of History of Computing*. – 1983. – No. 5 (2). – P. 210–212.
- [86] Mock O. R. *The Share 709 System: Input-Output Buffering // J. ACM*. – 1959. – Vol. 6. – No. 2. – P. 145–151.
- [87] Morris R., Grampp F. T. *UNIX Operating System Security. AT&T // Bell Laboratories Technical Journal*. – 1984. – Vol. 63. – Part 2. – No. 8. – P. 1649–1672.
- [88] Aleph Null (C. A. Lang). *Computer recreations: Darwin. Software // Practice and Experience*. – 1972. – Vol. 2. – Issue 1. – P. 93–96.
- [89] Vyssotsky V. A., Corbató F. J., Graham R. M. *Structure of the Multics Supervisors // AF IPS Conference Proceedings, 27 (1965)*. – Washington D.C. : FJCC Spartan Books, 1965. – P. 202–212.
- [90] Corbató F. J. *On Building Systems That Will Fail // Turing Award Lecture, 1991*.
- [91] Dijkstra E. W. *A note on two problems in connection with graphs // Numerische Mathematik*. – 1959. – No. 1. – P. 269–271.
- [92] Dijkstra E., Thomas J. M. (Editor). *An Interview with Edsger W. Dijkstra // Communications of the ACM*. – 2010. – No. 53 (8). – P. 41–47.
- [93] *The Origin of Concurrent Programming: from Semaphores to Remote Procedure Calls* (Brinch Hansen Per – Editor). – Berlin–NY : Springer, 2002. – 544 p.
- [94] Hunt J. W., McIlroy D. *An Algorithm for Differential File Comparison // Computing Science Technical Report (Bell Laboratories)*. – 1976. – No. 41. – June.

- [95] Manes S. *Gates: How Microsoft's Mogul Reinvented an Industry and Made Himself The Richest Man in America*. – Touchstone Pictures, 1994.
- [96] Айзексон У. *Стив Джобс : биография / пер. с англ.* – М. : АСТ, Corpus, 2012. – 704 с.
- [97] *IEEE Computer Society Magazine Honors Artificial Intelligence Leaders // Digital Journalcom*. – 2011. – 24.08.
- [98] Williams S. *Free as in Freedom: Richard Stallman and the Free Software Revolution*. – Boston, Massachusetts : GNU Press, 2010.
- [99] Таненбаум Э. *Современные операционные системы*. – 3-е изд. – СПб. : Питер, 2010. – 1120 с.
- [100] Торвальдс Л., Даймонд Д. *Ради удовольствия: рассказ нечаянного революционера*. – М. : ЭКСМО-Пресс, 2002. – 288 с.
- [101] Murray Ch. J. *The Supermen: The Story of Seymour Cray and the technical Wizards behind the Supercomputer*. – John Wiley & Sons, 1997. – 228 p.
- [102] Тюрин В. Ф. *Операционная система ДИСПАК*. – М. : Наука, 1985. – 336 с.
- [103] Малиновский Б. Н. *История вычислительной техники в лицах*. – К. : КИТ, ПТОО «АСК», 1995. – 384 с.

ЧАСТЬ III

Глава VII. Компьютерные сети

Введение

Настоящая глава посвящена истории обмена информацией на базе компьютерных сетей. Компьютерная сеть является некоторой реализацией графа-сети, часть вершин которой составляют пользователи, а часть – серверы или технические устройства, например накопители информации, спутниковые антенны, вышки-ретрансляторы и т. д.

История обмена информацией между людьми берет начало в глубокой древности, сначала как бесписьменный обмен (битье в барабаны, позже – в колокола, зажигание костров¹, факелов и т. д.), а с возникновением письменности – в форме почтовой связи².

При этом связь осуществлялась как по суше (конно и пеше), так и по воде, и по воздуху (голубиная почта) [11, Taube, s. 240–241].

¹ В трагедии «Агамемнон» древнегреческий поэт Эсхил (525–456 гг. до н. э.) описывает, как при помощи костров было передано сообщение о взятии Трои.

² В Египте регулярная почтовая связь появилась во времена Нового Царства (16–11 вв. до н. э.). Широко известно письмо Азирру Амирру египетскому фараону Эхнатону, датированное 1340 г. до н. э. [12, Postwesen, s. 1080–1081]. В Персии появление регулярной почтовой связи относят ко времени царствования персидского царя Кира II (550–529 гг. до н. э.). Этот факт приводит, в частности, Геродот (484–424 гг. до н. э.) [13].

В Древнем Китае при династии Чжоу (1100–256 гг. до н. э.) уже появилась регулярная почта, резко расширенная в период первой китайской империи при династии Цинь (221–206 гг. до н. э.) и особенно – при династии Хань (206 г. до н. э. – 220 г. н. э.) [14].

В Древней Индии в долине Инда в 3–2 тысячелетии до н. э. существовало развитое рабовладельческое государство Хараппа, не уступавшее в своем развитии государствам Египта и Месопотамии и имевшее тесные торговые и культурные связи с Ираном и Средней Азией [15].

В России почта возникла почти сразу же после создания в 862 г. Древнерусского государства. В «Повести временных лет» упоминается 885 г., когда князь Олег¹ послал родимичам гонца с вопросом. С 984 г. уже при первом великом князе киевском Владимире I Святославиче² появляется регулярная почта, «повоз» – повинность для населения выставлять лошадей с повозками для княжеских гонцов [17, с. 352].

С 1266 г. появились правила проезда гонцов по русским землям, а от татар пришло новое название почты: «ямская гоньба»³.

В 1794 г. на линии Париж – Лилль (длина 225 км) заработал первый оптический телеграф братьев Клода и Игнация Шаппов⁴.

В 1824 г. по проекту Пьера Шато, ученика К. Шаппа, действующий оптический телеграф был построен и в России. Он соединял Санкт-Петербург и Шлиссельбург (длина 60 км). А уже в

¹ Олег стоял во главе Древнерусского государства после смерти Рюрика в 879 г., вначале в Новгороде, а с 882 по 912 г. – в Киеве.

² Владимир I Святославич правил с 980 по 1015 г. После крещения (988 г.) принял имя Василий [16, с. 39].

³ «Ям» – тюркск. – почтовая станция в России в 13–18 вв. [18].

⁴ Клод Шапп (Claude Chapp: 1763–1805) – французский изобретатель одного из видов оптического телеграфа, названного им семафором и представленного на рубеже 1791/92 гг. Национальному Собранию Франции, по постановлению которого и была построена первая линия с передающими башнями. Его старший брат Игнаций Шапп (Ignace Chappe: 1760–1829) не только помогал брату при строительстве первой линии, но стал с 1794 г. главным директором французских телеграфов. В 1824 г. он выпустил в Париже книгу об истории создания телеграфа «Histoire de la télégraphie», защитив в ней брата от несправедливых обвинений в плагиате, приведших К. Шаппа к самоубийству. Хотя у К. Шаппа и были предшественники – Дж. Амонтонс (Guillaume Amontons: 1663–1705), Р. Гук (Robert Hook: 1635–1705), И. Бергштрёссер (Johann Bergströsser: 1732–1812), он привнес множество технических новинок при строительстве оптического телеграфа, и, самое главное, это был действующий весьма эффективно вид связи, поэтому К. Шапп по праву считается создателем первого оптического телеграфа [20]. Интересно, что, узнав об оптическом телеграфе К. Шаппа, Иван Петрович Кулибин (1735–1818) по заданию Екатерины II создает проект оптического телеграфа, аналогичный семафору К. Шаппа, но со своей оригинальной кодировкой по слогам. К сожалению, после смерти Екатерины II об этом проекте И. П. Кулибина забыли [21].

1839 г. по проекту того же П. Шато была построена самая длинная (1200 км) на тот момент линия оптического телеграфа, соединившая Зимний дворец в Санкт-Петербурге и Королевский замок в Варшаве. Все расстояние (с учетом того, что на трассе было 149 башен – передающих/принимающих станций) сигнал проходил менее чем за 20 минут [19].

Идея строительства электрического телеграфа¹ как электростатической линии связи пробивала себе дорогу всю вторую половину 18 века. Из наиболее успешных опытов можно отметить опыты испанского врача и изобретателя Дона Франциско Сальва (Don Francisco Salva y Campillo: 1751–1828) в 1795–1796 гг.² В 1804 г. им был построен электрохимический телеграф с 26 сосудами с электролитом (по числу букв латинского алфавита). При передаче сообщения (т. е. действию тока) в сосуде, соответствующем передаваемой букве, поднимались пузырьки, позволяя записать эту букву [23].

В 1809 г. этот телеграф был усовершенствован знаменитым немецким ученым С. Т. Зёммерингом (von Sömmerring Samuel Thomas: 1755–1830)³ [24].

До 1839 г. было предложено около 50 различных систем телеграфов.

¹ Идею электрического телеграфа предложил в 1753 г. шотландец Чарльз Моррисон (Morrison Charles), опубликовавший эту идею в заметке журнала «Scots Magazine», датированной 1 февраля 1753 г. и подписанной лишь инициалами «С.М.». Ч. Моррисон занимался в Глазго торговлей табаком. Позже эмигрировал в Вирджинию, где и умер. Расшифровал эти инициалы в 1859 г. сэр Дэвид Брюстер, написавший ранее, в 1855 г., серию статей об электрическом телеграфе в «Nord British Review» [22, с. xxii, 545].

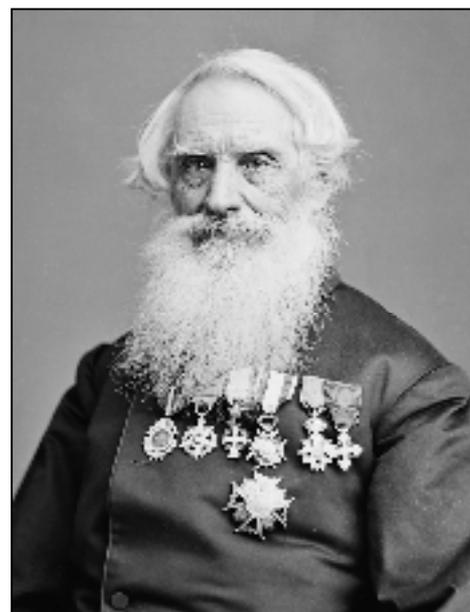
² О результатах своих опытов Ф. Сальва сообщил 16 декабря 1795 г. в Академии Барселоны [23].

³ С. Т. Зёммеринг родился в Торуня, учился в Гёттингене и был не только известным врачом, но и анатомом, антропологом, палеонтологом (впервые в 1812 г. описавшим «Птеродактиля») и изобретателем [25].

К 1837 г. относится появление телеграфного аппарата Сэмюэля Морзе (Morse Samuel Finley Breese: 1791–1872)¹ с неравномерным кодом (для более часто встречающихся в английском языке букв – более короткий код), называемым азбукой Морзе.

Недостатком (при очевидной простоте телеграфного аппарата) была низкая пропускная способность линии из-за малопроизводительного буквопечатающего аппарата [23; 27].

В России в октябре 1832 г. в Санкт-Петербурге П. Л. Шиллингом² был продемонстрирован электромагнитный телеграф со стрелочной индикацией сигналов фактически двоичного кода.



Сэмюэль Морзе

¹ С. Морзе, родившийся в семье влиятельного кальвинистского пастора и известного географа, Дж. Морзе (1761–1826), получил хорошее образование, обучаясь первоначально в Академии Филлипса (штат Массачусетс), а затем – в колледже в Йеле, где слушал, в частности, лекции по электричеству Бенджамина Силлимана (B. Silliman) и Джереми Дэя (J. Day). Увлечение сына с юношеских лет живописью склонило, не без сомнений, родителей С. Морзе к решению послать сына в 1811 г. на три года в Англию для изучения живописи. Так С. Морзе стал профессиональным художником. В 1825 г. он организует в Нью-Йорке Национальную Академию живописи (National Academy of Design) и избирается ее первым президентом. В 1835 г. С. Морзе становится профессором начертательных искусств в университете Нью-Йорка. В 1836 г. он знакомится с описанием электрического телеграфа, изобретенного и построенного в 1833 г. немецким физиком В. Вебером (Weber Wilhelm Eduard: 1804–1891) при помощи великого немецкого математика и астронома К. Гаусса (Gauss Carl: 1777–1855), соединившего в Гёттингенском университете физический кабинет с обсерваторией. С этого момента С. Морзе почти все свое время посвящает изобретательству [26; 28].

² Барон Павел Львович Шиллинг (Paul Schilling von Cannstatt: 1786–1837) родился в Ревеле (ныне Таллин) в семье Л. Ф. Шиллинга, командира пехотного полка, балтийского немца по происхождению. Первоначальное образование П. Л. Шиллинг получил в кадетском корпусе, который окончил в 1802 г. С 1803 г. до лета 1812 г. служил переводчиком в русском представительстве в

После смерти П. Л. Шиллинга его телеграф усовершенствовал Б. С. Якоби¹, создав к 1850 г. оригинальное буквопечатающее устройство.

Лучшим, однако, оказался буквопечатающий аппарат Д. Э. Хьюза (David Edward Hughes: 1831–1900)², созданный в 1854 г. Уже через 11 лет Д. Э. Хьюз устанавливает свои аппараты на линии Санкт-Петербург – Москва.

Мюнхене. В 1805 г. он знакомится с С. Т. Зёммерингом и увлекается идеей постройки электрического телеграфа. Осенью 1812 г. П. Л. Шиллинг разрабатывает и реализует в Петербурге метод электрического подрыва мин. В 1813–1814 гг. он участвует в войне против Наполеона (награжден саблей «За храбрость»), а осенью 1814 г. возвращается на службу в Министерство Иностранных дел Российской Империи, не оставляя эксперименты с электричеством. Параллельно в эти же годы он занимается изучением восточных языков (в первую очередь, китайского). Под его руководством к 1818 г. была построена первая в России литографическая мастерская, изготавливавшая для армии топографические карты и воспроизводившая китайские рукописи. В 1828 г. П. Л. Шиллинг избирается членом-корреспондентом Российской Академии Наук отделения литературы и древностей. После демонстрации (1832) своего усовершенствованного телеграфного аппарата в России (в том числе Николаю I) П. Л. Шиллинг едет в Берлин и показывает (1833) свой аппарат Александру фон Гумбольдту (Alexander von Humboldt: 1769–1859). В России с конца 1832 г. началось строительство первых линий электро-телеграфной связи, прерванное смертью П. Л. Шиллинга в 1837 г. [29].

¹ Якоби Борис Семёнович (von Jacobi Moritz Herman: 1801–1874) родился в богатейшей еврейской семье Симона Якоби – личного банкира Прусского короля Фридриха Вильгельма III (Friedrich Wilhelm III: 1770–1840). Учился в Берлинском и Гёттингенском университетах, изучая физику. Позже работал архитектором вначале в Берлине, а с 1834 г. – в Кёнигсберге, где с 1826 г. был профессором университета его младший брат, выдающийся математик Карл Якоби (Carl Gustav Jacob Jacobi: 1804–1851). В 1834 г. Б. С. Якоби строит первый в мире электродвигатель с непосредственным вращением рабочего вала. В 1835 г. Б. С. Якоби был приглашен профессором гражданской архитектуры в университет г. Дерпта (ныне Тарту). Приняв в 1837 г. российское подданство, Б. С. Якоби в 1838 г. стал автором замечательного открытия – гальванопластики, за что в 1840 г. удостоился Демидовской премии. В 1847 г. Б. С. Якоби избирается ординарным академиком Российской Академии наук и до конца жизни заведует Физическим кабинетом Академии Наук в Петербурге [30; 31].

² Дэвид Хьюз (до 1991 г. писалось Юз) родился в Лондоне, а в возрасте 7 лет вместе с родителями переехал в США, где стал физиком-экспериментатором. В 1865–67 гг. работал в России, а в 1867 г. Д. Хьюз вернулся в Лондон. В 1878 г. он изобрел угольный микрофон, а в 1881 г. – индукционные весы [33].

Еще через 9 лет (в 1874 г.) французский инженер Э. Бодо (Émil Vaudot: 1845–1903)¹ изобретает телеграфный аппарат, позволявший уплотнить телеграфные линии, положив в основу пятизначный код [19]. Правда, идея уплотнения принадлежала поданному Российской Империи, лауреату Демидовской премии за создание «счислителя» (см. [1, с. 46–50]) Хаиму-Зелику (Зиновию Яковлевичу) Слонимскому (1810–1904) [34], предложившему в 1858 г. метод квадруплексного телеграфирования².

Добавим, что еще до регистрации в 1874 г. патента Э. Бодо русский изобретатель профессор Харьковского университета Ю. И. Морозов в 1869 г. предложил использовать для одновременной передачи нескольких сообщений по одному проводу переменный ток. Кстати, проблема предварительной фиксации информации была решена еще в 1858 г. английским изобретателем сэром Ч. Уитстоном (Charles Wheatstone: 1802–1875),



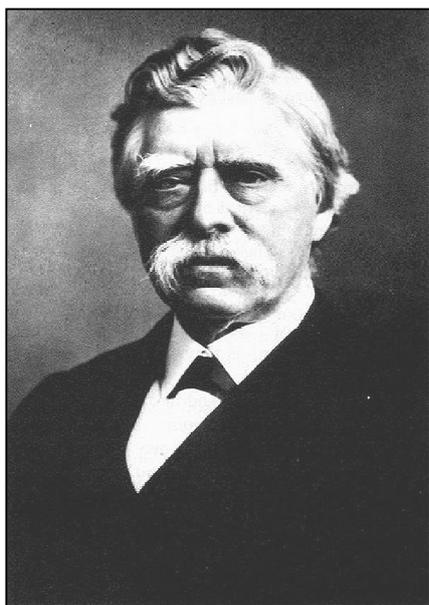
Б. С. Якоби



П. Л. Шиллинг

¹ Патент № 103.898 от 17 июня 1874 г. «Système de télégraphie rapid» [32, с. 394–395].

² Квадруплекс (от лат. *quadruplex* – четвертной) – метод телеграфирования, позволяющий по одному проводу вести одновременно передачу двух различных телеграмм и прием двух других телеграмм. В 1874 г. Т. Эдисон (Edison Thomas Alva: 1847–1931) предложил схему, практически совпадавшую со схемой Слонимского [28].



Д. Э. Хьюз



З. Я. Слонимский

создавшим перфоратор для набивания дырок в бумажной ленте, соответствующих точкам и тире азбуки Морзе [23; 32]. Это, несомненно, был шаг вперед по отношению к перфокартам Жозефа Жаккара (Jacquard Joseph Marie: 1752–1834) и Чарльза Бэббиджа (Babbage Charles: 1791–1871) (см. [1, с. 15, 20]).

Вернемся в середину 19 века. В 1854 г. вице-инспектор парижского телеграфа Шарль Бурсель (Charles Bourseul: 1829–1912)¹ в парижском журнале «L'Illustration» написал о возможности передачи человеческого голоса с помощью электрических сигналов².

Реальный прототип устройства, реализующего эту идею, принадлежит учителю математики, физики, химии и французского Филиппу Райсу (Philipp Reis: 1834–1874).

Первая версия устройства, названного им «телефон», была продемонстрирована 26 октября 1861 г. членам физического общества Франкфурта (на Майне) [35; 36]³.

¹ Ш. Бурсель родился в Брюсселе (Бельгия).

² В начале династии Сун (960–1279) китайский изобретатель Кунг-Фи создал (968) «телефон по трубе» (thumtsein), передававший речь по трубе, содержащей резонаторы, на достаточно большие расстояния. Впрочем, еще в древнеегипетских храмах существовали системы скрытых труб для передачи звуков.

³ К сожалению, туберкулез позволил Ф. Райсу проводить усовершенствование своего изобретения еще только в течение двух лет [36].

В 1871 г. Американец итальянского происхождения Антонио Меуччи (Antonio Meucci: 1808–1889) патентует в U.S. Patent Office телефонное устройство. Однако в заявке на патент нет упоминания об электромагнитной передаче (transmission) звуков [37]¹.

А вот в заявке на патент родившегося в Эдинбурге (Шотландия) Александра Белла (Alexander Graham Bell: 1847–1922), поданной в феврале 1876 г. в тот же американский офис, это упоминание уже есть [27]². Выданный А. Беллу патент датируется 7 марта 1876 г.



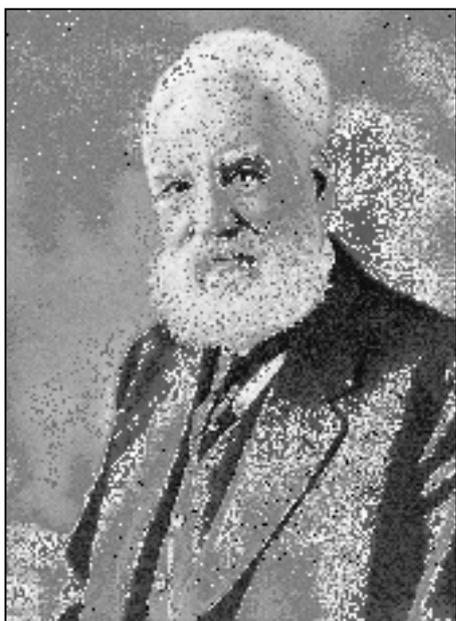
Филипп Райс

Двумя часами позже, чем А. Белл, подал заявку на патент Илайша Грей (Elisha Gray: 1835–1901) [38]³. Заявка И. Грея не была удовлетворена, и он подал жалобу в суд. В 1893 г. Верховный

¹ Любопытно, что в 2002 г. Нижняя палата Конгресса США приняла резолюцию № 269, не поддержанную, впрочем, Сенатом, объявляющую А. Меуччи создателем телефона (Bill Number H. RES. 269 for the 107th Congress).

² Александр Белл родился (1847) в семье профессора А. Мелвилла Белла (Alexander Melville Bell), профессионального учителя глухонемых. Неудивительно, что и сам А. Белл стал учителем глухонемых. 1877 г., год основания Bell Telephon Company (ВТС), был также годом его женитьбы на бывшей ученице школы для глухонемых Мэбел Хаббард (Mabel Hubbard: 1857–1923). Среди изобретений А. Белла до сих пор широко используются аудиометр (1879), а также миноискатель (1881). Основанная А. Беллом компания ВТС внесла большой вклад не только в развитие телефонии, но и в развитие компьютерных технологий (см. [2]). Любопытно, что в 2012 г. группой студентов донецкой компьютерной Академии «ШАГ» были созданы перчатки, преобразующие жест в речь и тем самым позволяющие осуществлять коммуникацию глухонемых с обычными людьми, что реализовало давнюю мечту А. Белла [27, с. 43–52; 38].

³ И. Грей родился в штате Огайо в 1835 г. По окончании Оберлинского колледжа он стал заниматься экспериментами в области электричества. В 1867 г. запатентовал телеграфное реле с автоматической регулировкой. Им же был построен буквопечатающий аппарат собственной конструкции [38].



Александр Белл



П. М. Голубицкий

суд Соединенных Штатов Америки вынес решение в пользу А. Белла. В обосновании своего решения Верховный суд учел не только разницу во времени подачи заявок, но и то, что у А. Белла в заявке фигурировал уже реально действующий аппарат, а у И. Грея – только идея, хотя и другая. Добавим, что двухполюсный телефонный аппарат, позволивший вести переговоры на расстояниях, больших 350 км, впервые создал в 1882 г. русский изобретатель, выпускник (1870) физико-математического факультета Петербургского университета Павел Михайлович Голубицкий (1845–1911) [19, с. 19–20].

Приведем теперь очень коротко информацию о предшественнике Wi-Fi, т. е. о радио как технической основе беспроводных сетей.

О передаче звука в период 1866–1880 гг. заявляли и американский дантист Махлон Лумис (Mahlon Loomis: 1826–1886) [39], получивший в 1872 г. первый в мире патент на беспроводную связь, и уже упоминавшийся выше Дэвид Хьюз, который получил в 1879 г. радиосигнал на телефонном приемнике, соединенным с микрофоном, в

результате действия искры индукционной катушки¹.

В 1888 г. выдающийся немецкий физик Генрих Герц (Heinrich Rudolf Hertz: 1857–1894)² экспериментально подтвердил электромагнитную теорию света великого шотландца Джеймса Максвелла (James Clerk Maxwell: 1831–1879) с помощью двух приборов, названных уже в 90-е гг. 19 века радиопередатчиком и радиоприемником. В качестве радиопередатчика Г. Герц сконструировал прибор, названный позже вибратором Герца³, а в качестве радиоприемника – простейший резонатор: прямоугольную незамкнутую рамку с латунными шариками на концах и регулируемым искровым промежутком. Кроме подтверждения теории света Максвелла Г. Герц сделал вывод о возможности передачи энергии электрического и магнитного полей без проводов.



Генрих Герц

¹ В феврале 1880 г. Д. Хьюз продемонстрировал свое изобретение членам Королевского Общества, которые, однако, убедили Д. Хьюза, что речь идет лишь об индукции [33].

² Г. Герц родился в семье процветающего еврейского коммерсанта из Гамбурга Густава Фердинанда Герца (1827–1914), принявшего лютеранство. Г. Герц учился вначале в гимназии при университете Гамбурга, а позже в университетах Дрездена, Мюнхена и Берлина, где был учеником Густава Кирхгофа (Gustav Robert Kirchhoff: 1824–1887) и Германа фон Гельмгольца (Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz: 1821–1894). Последний был его научным руководителем при защите диссертации (1880) на степень доктора философии. В 1885 г. Г. Герц стал полным профессором университета в Карлсруэ, где и получил экспериментальное доказательство теории света Максвелла. Умер Г. Герц в возрасте 36 лет от заражения крови [40].

³ В основе вибратора Герца лежит катушка Румкорфа (Heinrich Daniel Ruhmkorff: 1803–1877) – преобразователь постоянного тока низкого напряжения в переменный ток высокого напряжения [41].



Эдуард Бранли

В 1890 г. французский изобретатель, физик, инженер, доктор медицины Эдуард Бранли (Edouard Eugene Desire Branly: 1844–1940) создал прибор для регистрации электромагнитных волн, названный им радиокондуктором (позже – когерером)¹, и тем самым впервые в научный оборот вошло понятие радио [42].

Наконец, в 1891 г. серб Никола Тесла (Nikola Tesla: 1856–1943)², принявший в 1891 г. американское гражданство, в ходе публичной лекции в городе Сент-Луис (на реке Миссисипи, штат Миссури) дает описание принципов передачи радиосигнала на большие расстояния, а через 2 года, в 1893 г., патентует радиопередатчик и изобретает мачтовую антенну для передачи радиосигнала на дальние расстояния [43]. Итак, к 1893 г. радио не только изобретено, но и реально существует.

¹ Когерер (или трубка Бранли) – это стеклянная трубка, наполненная металлическими опилками, которые под воздействием радиосигнала резко меняют свою проводимость.

² Никола Тесла родился в 1856 г. в Австро-Венгрии в семье священника сербской православной церкви Милутина Теслы (1819–1879). В 1873 г. закончил Высшее реальное училище в г. Карловац, затем три курса Высшего технического училища в Граце, а также один семестр философского факультета Карлова университета в Праге. С лета 1881 до июля 1884 г. Н. Тесла работал инженером-электриком в Австро-Венгрии, Германии и Франции, затем один год в Нью-Йорке в компании Эдисона. Позже в Америке Н. Тесла основал свою компанию, занимавшуюся обустройством уличного освещения. Заработанные деньги тратил на исследования магнитных полей и высоких частот в созданной им лаборатории, просуществовавшей до пожара 1895 г. После 1895 г. Н. Тесла работал в разных городах Америки, не прекращая разнообразных экспериментов в области ВЧ-токов, вращающихся магнитных полей и теории резонанса. Теоретические работы Н. Теслы, а также сотни (!) патентов сделали его имя широко известным. Не случайно именем Теслы названа единица измерения плотности магнитного потока [43; 44].

Естественен вопрос: «А как же А. С. Попов или Гульельмо Маркони»?

Прежде, чем ответить на этот вопрос, упомянем еще одну дату: 14 августа 1894 г. В этот день на публичной лекции в Музее Естественной Истории Оксфордского университета были продемонстрированы опыты по беспроводному телеграфированию, которые провели профессор физики и математики Университета Ливерпуля Оливер Лодж (Oliver Joseph Lodge: 1851–1940) и инженер Александр Мирхед (Alexander Muirhead: 1848–1920).

О. Лодж изобрел собственный «прибор для регистрации приема электромагнитных волн», т. е. радиоприемник, состоявший из трубки Бранли, источника тока, реле и гальванометра [45]¹.

Что касается А. С. Попова, то на заседании Русского физико-химического общества 7 мая 1895 г. в ходе лекции «Об отношении металлических порошков к электрическим колебаниям» он продемонстрировал прибор, схожий с прибором О. Лоджа, и воспроизвел



Никола Тесла



Оливер Лодж

¹ В 1898 г. О. Лодж получил патент на принципы настройки на нужную станцию (в 1912 г. он продал этот патент компании Маркони). В том же 1898 г. им был изобретен динамический громкоговоритель. За свои научные достижения в 1902 г. О. Лодж был удостоен рыцарского звания [45].



А. С. Попов

опыты О. Лоджа с электромагнитными сигналами.

Если говорить о применении построенного А. С. Поповым радиоприемника в метеорологии, то первым применил «разрядоотметчик Попова» уже в мае 1895 г. профессор Лесного института Д. А. Лачинов¹ [46].

18 декабря 1897 г. А. С. Попов на заседании Русского физико-химического общества передает первую в *России* радиограмму «Генрих Герц».

При этом использовался вибратор Герца и приемник собственной конструкции, построенный еще в 1895 г. [47; 48]. Если говорить о Маркони², то, по его собственным воспоминаниям [49], он начал эксперименты по радиотелеграфии в 1894 г., а уже весной 1895 г. радиосигнал передавался им на 1.5 км. В июне 1896 г. Г. Маркони подает заявку на патент и в июле 1897 г.

¹ Лачинов Дмитрий Александрович (1842–1902) учился в Санкт-Петербургском университете, в Гейдельберге и Тюбингене, занимаясь физикой под руководством Гельмгольца и Кирхгофа. Д. А. Лачинов первый (еще в 1880 г., в первом номере журнала «Электричество») сформулировал условия передачи электроэнергии на большие расстояния. Д. А. Лачинов – автор многих изобретений, например электролитического способа получения и производства кислорода и водорода. Не случайно в 1881 г. за свои изобретения он был удостоен в Париже ордена Почетного Легиона и бронзовой медали [46].

² Г. Маркони (Guglielmo Marchese Marconi: 1874–1937) родился в Болонье в семье землевладельца (не маркиза!). Титул маркиза (marchese) был присвоен Г. Маркони королем Италии Эммануилом III (Vittorio Emmanuele III: 1869–1947; годы правления: 1900–1946) в 1924 г. Г. Маркони учился в Техническом институте в Ливорно, а в 20 лет поступил в Болонский университет. Под влиянием своего учителя, профессора физики А. Риги, он заинтересовался проблемой передачи электромагнитных волн. В 1896 г. в Великобритании впервые продемонстрировал свой аппарат [50].

получает британский патент. Приемник Маркони фактически повторял приемник А. С. Попова, но уже изначально подключенный к телеграфному аппарату. Передатчиком у Г. Маркони был вибратор Герца, усовершенствованный учителем Г. Маркони профессором Аугусто Риги (Augusto Righi: 1850–1921)¹.

При этом передатчик был соединен с ключом Морзе. Безусловной заслугой Маркони является создание в июле 1897 г. акционерного общества «Marconi & C^o», основной задачей которого ставилось развитие радиотехники, и для работы в котором им было приглашено много видных ученых и инженеров. Итогом работы этой компании была трансатлантическая радиосвязь, установленная в 1901–1902 гг.



Д. А. Лачинов



Гульельмо Маркони

¹ А. Риги в 1894 г. разработал новый тип генератора электромагнитных волн, а именно сферический осциллятор сантиметровых волн. На основании экспериментов с этим генератором в Институте физики Болонского университета А. Риги показал, что радиоволны отличаются от световых волн только длиной волны [32; 48]. С 1896 г. А. Риги – иностранный член Петербургской Академии Наук.



Карл Браун

В 1909 г. Нобелевский комитет присудил Г. Маркони и К. Брауну¹ Нобелевскую премию по физике «в знак признания их заслуг в *развитии* беспроводной телеграфии», но вовсе не за открытие радио, как часто пишут в разных книгах с подачи самого Маркони (что привело к судебному процессу с Н. Теслой, который закончился в 1943 г. решением Верховного суда США, признавшим приоритет Н. Теслы в открытии радио).

Поскольку Нобелевская премия присваивается только живущим (и поэтому А. С. Попов в 1909 г. ее получить уже не мог), а заслуги Н. Теслы, Э. Бранли, О. Лоджа или бенгальца сэра Джагадиш Чандра Боше² (Jôgodish Chôndro Boshu: 1858–1937) в развитии беспроводной телеграфии были никак не меньше заслуг К. Брауна, то решение Нобелевского комитета вызвало у многих ученых удивление.

¹ Карл Фердинанд Браун (Karl Ferdinand Braun: 1850–1918) усовершенствовал передатчик Маркони, сделав возможной выборку частоты за счет включения конденсатора в контур, содержащий разрядник. Им же были изобретены «трубки Брауна» (1897), называемые катодными трубками. Браун учился в университетах Марбурга и Берлина. С 1895 г. – директор Института физики в Страсбурге. Под его руководством защитил докторскую диссертацию будущий советский академик-физик Леонид Исаакович Мандельштам (1879–1944) [51].

² Сэр Джагадиш Чандра Боше (Босе) провел в ноябре 1894 г. в ратуше Калькутты публичную демонстрацию опытов по беспроводной передаче сигнала в миллиметровом диапазоне. При этом вместо «трубки Бранли» Д. Ч. Боше использовал придуманный им ртутный когерер, не требовавший встряхивания, о чем было сообщено в журнале «Электрик» (т. 36, декабрь 1895 г.). Д. Ч. Боше был первым, кто использовал полупроводниковые переходы для детектирования радиосигналов. В 1904 г. он первым из индусов получил патент в США [52; 53].

Хотя К. Браун бесспорно заслуживал Нобелевской премии, например, за создание катодно-лучевой трубки (CRT) (или, как теперь принято говорить, электронно-лучевой трубки ЭЛТ). Впрочем, и в будущем подобное случится не один раз.

Заканчивая введение к главе VII, заметим, что для развития компьютерных сетей важную роль сыграло появление мониторов, связанное с развитием CRT-технологий, открытых К. Брауном, или, более общо, визуализация передаваемой информации. Но подробнее это будет обсуждено в § 27 следующей главы.



*Джагадидиш Чандра
Боше*

§ 25. Локальные компьютерные сети

Локальными сетями (local networks) ныне называют компьютерные сети, размещающиеся либо в одном здании, либо в одной организации [54, с. 35], администрируемые с помощью маршрутизации сообщений и содержащие в качестве узлов не только компьютеры, но и маршрутизаторы, коммутаторы, а также точки беспроводного доступа, модемы, сетевые адаптеры, беспроводные маршрутизаторы. Кроме того, в качестве узлов ориентированной сети могут использоваться конвертеры среды, усилители сигнала и специальные антенны.

Локальная сеть одного предприятия называется **сетью предприятия** (enterprise networks).

Локальные сети бывают как проводные, так и беспроводные. Особым случаем локальной сети является *персональная сеть*, соединяющая компьютер с его периферийными устройствами¹.

Большинство сетей организованы в наборы уровней. Между каждой парой смежных уровней находится *интерфейс*, определяющий набор примитивных операций, предоставляемых нижним уровнем верхнему.

Напомним, что связи в компьютерных сетях делятся на две категории: использующие соединения от узла к узлу (т. е. без проблемы очередности передаваемой информации) и ширококвещательные каналы (т. е. каналы с выбором очередности передачи информации, будь то пользователь или компьютер)².

Локальные сети, как правило, являются ширококвещательными каналами. Протоколы, использующиеся при определении очередности передачи информации, принадлежат к подуровню канального уровня, называемому *MAC* (Medium Access Control) – *управление доступа к среде*.

Создателем *чистого* MAC является профессор университета на Гавайях Норман Абрамсон (Norman Abramson: 1932)³, разработавший к концу 60-х гг. систему ALOHA⁴.

¹ Подробнее о персональной сети мы поговорим в следующей главе.

² Ширококвещательные каналы часто называют *каналами с множественным доступом* (multi-access channels) или *каналами с произвольным доступом* (random access channels) [54].

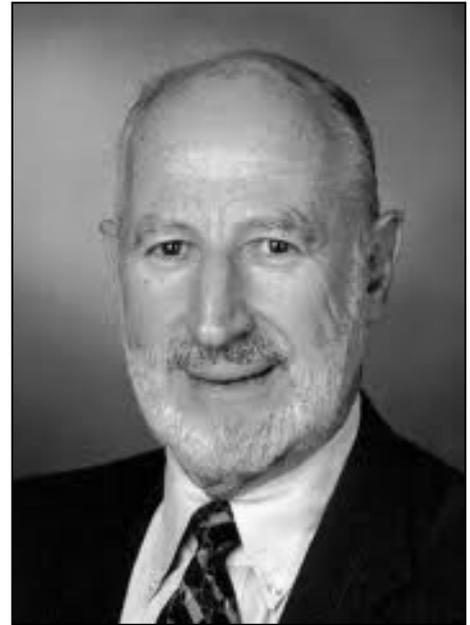
³ Н. Абрамсон родился в Бостоне в 1932 г. Степень бакалавра по физике получена им в 1953 г. в Гарварде, степень магистра физики – в 1955 г. в Калифорнийском университете в Лос-Анджелесе (UCLA), а степень Ph. D. инженера-электрика – в 1958 г. в Стэнфордском университете. В 1968–1994 гг. был профессором Университета на Гавайях одновременно двух специальностей – инженерной электротехники и компьютерных наук и, кроме того, директором Aloha System [55].

⁴ N. Abramson. The aloha system – another alternative for computer communication // In Proc. 1970 Fall Joint Computer Conference. – AFIPS Press, 1970. – P. 281–285.

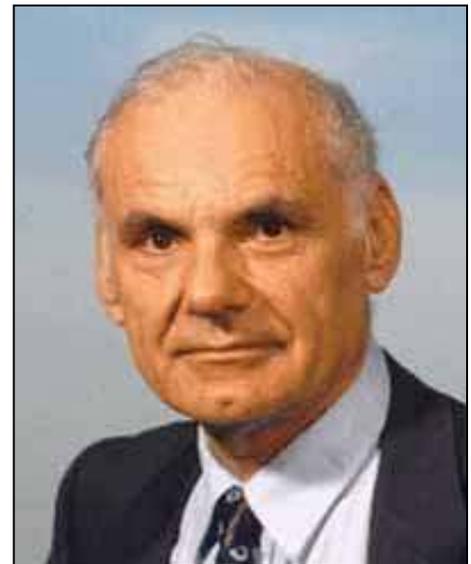
Добавим, что *чистая* система ALOHA отличается от *дискретной* системы ALOHA тем, что время в ней считается непрерывным (т. е. кадры передаются в произвольное время), а в дискретной версии время делится на дискретные интервалы, в которые и должны уместиться все кадры.

Создателем дискретной системы ALOHA является Ларри Робертс (Lawrence Gilman Roberts: 1937) (подробнее о Л. Робертсе еще будет речь дальше, когда будем говорить о создании ARPANET [56]).

Дискретная система, появившаяся в 1972 г., позволила удвоить производительность системы ALOHA. Последующие 7 лет были направлены на повышение производительности канала за счет взаимного учета поведения пользователей. Протоколы множественного доступа, в которых станции прослушивают среду передачи данных и действуют с учетом этого, называются *протоколами с контролем несущей*. К их числу относят, в частности, протоколы с ограниченной конкуренцией, протокол адаптивного прохода по дереву и протоколы беспроводных локальных систем.



Норман Абрамсон



Ларри Робертс



Леонард Клейнрок

В США по этой проблематике наиболее интенсивно шли исследования в Калифорнийском университете в 70-е гг. XX в. Назовем только двух исследователей: Леонарда Клейнрока (Leonard Kleinrock: 1934)¹ и приехавшего из Франции в 1970 г. Фуада Тобаги (Fouad A. Tobagi) [58]².

В СССР этой же проблематикой занимался Институт проблем передачи информации АН СССР (ныне РАН). Его открытые публикации размещались в журнале «Проблемы передачи информации», который начал выходить в 1965 г. Среди работ, посвященных проблемам протоколов множественного доступа, опередивших ис-

¹ Л. Клейнрок родился в Нью-Йорке в 1934 г. в скромной еврейской семье. После окончания школы в Бронксе (район Нью-Йорка) в 1951 г. поступил на факультет инженерной электротехники городского Университета Нью-Йорка. После получения степени бакалавра (1959) поступил в MIT, где в 1959 и 1963 г. получил соответственно ученые степени магистра и Ph. D. по инженерной электротехнике и компьютерным наукам. Позже он переезжает в Лос-Анджелес, где в UCLA совмещает работу на факультетах инженерной электротехники и компьютерных наук. В 1991–95 гг. руководит факультетом компьютерных наук. В 1969 г. под его руководством студент Чарли Клайн (Charley Kline) 29 октября в 10.30 утра по местному времени передал первое сообщение в сети ARPANET. В 1988 г. Л. Клейнрок возглавил группу, представившую в Конгресс США рапорт о необходимости создания национальной исследовательской сети, что привело, в конечном счете, к созданию Интернета. В 2008 г. Л. Клейнрок был награжден Национальной медалью Науки [57].

² Ф. Тобаги получил в 1970 г. диплом инженера в парижской Ecole Centrale des Arts et Manufactures, а в 1971 и в 1974 г. – степени магистра и доктора соответственно в Калифорнийском университете, Лос-Анджелес (UCLA). Позже, в 1974–78 гг., Ф. Тобаги был ответственным руководителем в этом университете по развитию проекта ARPA. С 1978 г. Ф. Тобаги становится профессором Стэнфордского университета по двум специальностям: инженерная электротехника и компьютерные науки. В 1991 г. Ф. Тобаги в составе группы основывает сеть Starlight и до 1998 г. является ее техническим директором [57].

следования на Западе, отметим работы Б. С. Цыбакова [59–61] (подробнее см. [62]).

Вернемся к истории локальных сетей. В США, как, впрочем, и в СССР, их создание проходило в условиях как закрытого, так и открытого доступа.

В США были созданы две компьютерные сети, которые различаются по доступу: Ethernet и ARPANET [54].

В 1962 г. в рапорте корпорации RAND, финансируемой Министерством обороны США, появились результаты изучения деятельности сети миникомпьютеров магистра-инженера Пола Бэрэна (Paul Baran: 1926–2011)¹ [63], хотя чаще идут ссылки на его рапорт 1964 г. [64]. Заключение фирмы AT & T для Министерства обороны США о работе П. Бэрэна было отрицательным, что на три года затормозило создание локальных сетей в США. В СССР идея создания ло-



Фуад Тобаги



Пол Бэрэн

¹ П. Бэрэн (имя при рождении – Пейсах) родился в многодетной еврейской семье в 1926 г. в г. Гродно (тогда – Польша). В 1928 г. его родители вместе с детьми эмигрировали в США, где в Филадельфии его отец Моше (Morris) Бэрэн (1884–1979) открыл бакалейную лавку. В 1949 г. П. Бэрэн получил диплом инженера-электрика в Институте Технологии им. Дрекслея и сразу стал работать в компании Эккерта–Моучли по выпуску компьютеров. В 1959 г. П. Бэрэн получил степень магистра-инженера в UCLA и был принят в RAND Corporation, где проработал до 1968 г. В 1968 г. основал Институт для Будущего, где развивались сетевые технологии на основе изобретений Силиконовой Долины [65].

кальной сети была предложена еще в 1959 г. А. И. Китовым (1920–2005)¹, но, как позже и в США, эта идея была первоначально отвергнута.

Практическую реализацию создания локальной сети, основанной на идеях Нормана Абрамсона, осуществили Роберт М. Меткальф² (Robert M. Metkalf: 1946) и Дэвид Боггс³ (David R. Boggs: 1950) в Исследовательском центре фирмы Xerox, где они после пребывания на Гавайях в 1973 г. стали работать с осени 1973 г. (см. [68]).

¹ Китов Анатолий Иванович родился в 1920 г. в Самаре. Участник Великой Отечественной войны. В 1952 г. защитил кандидатскую диссертацию «Программирование задач внешней баллистики ракет дальнего действия». Широкое признание в СССР и за рубежом получила написанная им совместно с Н. А. Криницким книга «Электронные цифровые машины и программирование», вышедшая в 1959 г. в издательстве «Наука». В 1963 г. защищает докторскую диссертацию. В 70-е гг. явился одним из создателей алгоритмического языка АЛГЭМ. Он был также главным конструктором АСУ «Здравоохранение».

² Р. Меткальф родился в 1946 г. в Бруклине (Нью-Йорк). По окончании школы в 1964 г. Р. Меткальф поступил в MIT и в 1969 г. получил степени бакалавра электротехники и бакалавра управления промышленностью. Через год он получает степень магистра по электротехнике в Гарварде и там же продолжает исследования по этой тематике для получения степени Ph. D. После защиты диссертации (1973) Р. Меткальф предполагает поступить на работу в фирму Xerox, а между тем (летом 1973 г.) едет на Гавайи, где познакомившись с работой Н. Абрамсона, и создает (вместе с Дэвидом Боггсом) систему Ethernet. После ухода (1979) из исследовательского центра фирмы Xerox Р. Меткальф создает компанию по производству оборудования компьютерных сетей. В числе полученных Р. Меткальфом наград отметим медаль А. Белла [66].

³ Д. Боггс (David Reeves Boggs) родился в 1950 г. После окончания весьма известной средней школы Woodrow Wilson High School в Вашингтоне учился в Принстонском и Стэнфордском университетах, где в 1973 г. получил две магистерских степени: по радио и электротехнике. В 1982 г. защитил в Стэнфорде докторскую диссертацию по электротехнике. Его диссертация называлась «Internet Broadcasting». Покинув в 80-е гг. исследовательский центр фирмы Xerox, Д. Боггс стал работать в исследовательской лаборатории DECWRL, где стал одним из основных разработчиков проекта создания видеоигр «Титан». В 1988 г. Д. Боггс был награжден премией IEEE компьютерного сообщества [67].

В центре они увидели набор прототипов персональных компьютеров, не связанных между собой. Создав локальную сеть с пакетной маршрутизацией, они назвали ее системой Xerox Ethernet. В 1978 г. корпорация DEC (Digital Equipment Corporation) Intel и фирма Xerox разработали стандарт 10-мегабитного Ethernet, названный DIX standard. В 1983 г. этот стандарт превратился в стандарт IEEE 802.3.



Роберт Меткальф

Вернемся еще на несколько лет назад. В 1967 г. в маленьком городке Гетлинбурге (штат Теннесси) состоялся достаточно закрытый симпозиум АСМ, посвященный принципам работы операционных систем [54, с. 73]. На этом симпозиуме британский ученый Дональд Дэвис (Donald Watts Davis: 1924–2000)¹ рассказал о компьютерной сети, создаваемой в Великобритании Нацио-

¹ Д. Дэвис родился в семье служащего угольной шахты в 1924 г. в маленьком городке Треорчи (Уэльс). Вскоре после смерти отца мать Дэвиса с детьми вернулась в отчий дом в Портсмуте, где он и пошел в школу. В 1943 г. он получил степень бакалавра по физике в знаменитом Imperial College в Лондоне. Там же в 1947 г. получил степень бакалавра по математике. В промежутке он работает ассистентом Клауса Фукса в Бирмингемском университете, участвуя в атомном проекте. В сентябре 1947 г. в рамках Национальной Физической Лаборатории (NPL) его включают в маленькую группу, руководимую Аланом Тьюрингом в проекте ACE (Automatic Computing Engine). Любопытно, что в процессе выполнения проекта Д. Дэвис находит ошибку в одной из ранних работ Тьюринга по созданию ленточного автомата. После ухода А. Тьюринга из лаборатории (в связи с уголовным преследованием (подробнее см. с. 80–81)) Д. Дэвис завершает работу над проектом компьютер Pilot ACE заработал в мае 1950 г.

В 1950–1966 гг. Д. Дэвис работает вне NPL над различными проектами, например в 1958 г. он инициирует работу по автоматическому переводу с помощью компьютера технических текстов с русского языка на английский. В 1966 г. Д. Дэвис возвращается в NPL, чтобы осуществить свою идею (1965)



Дональд Дэвис

нальной Физической Лабораторией (NPL), и о возможности успешной пакетной коммутации в процессе управления этой сетью. Доклад Д. Дэвиса, услышанный Ларри Робертсом, отвечавшим в ARPA в тот период за распределение программ, а значит и денежных средств, предоставляемых Министерством обороны США в рамках ARPA на научные исследования, фактически совпадал с тем, что предлагал еще в 1962 г. Поль Бэрэн [63].

Напомним, что 4 октября 1957 г. в СССР был запущен первый в мире искусственный спутник. И тогда в США под эгидой Министерства обороны была создана единая научная организация ARPA (Advanced Research Projects Agency)¹.

Через 10 лет Ларри Робертс², ставший одним из ее распорядительных директоров (диспетчером программ), принимает ре-

создания локальной сети для компьютеров этой лаборатории. Поездка в MIT в 1967 г. укрепила уверенность Д. Дэвиса в важности задуманной им идеи. В августе 1968 г. на конференции в Эдинбурге Д. Дэвис подробно рассказал об идее пакетной маршрутизации. Ее реализация была завершена в NPL в 1970 г. [69].

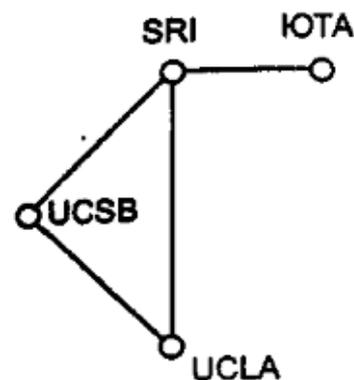
¹ ARPA = Управление перспективного планирования научно-исследовательских работ.

² Л. Робертс родился в 1937 г. в штате Коннектикут, где и окончил среднюю школу. Дальнейшее образование и ученые степени (бакалавра, магистра и Ph. D.) получены им в MIT по специальностям «математика» и «компьютерные науки». Процесс работы над своей докторской диссертацией Л. Робертс совмещал с работой в Лаборатории им. Линкольна в MIT, где проводились исследования по компьютерным сетям. С декабря 1966 г. Л. Робертс становится техническим директором ARPA, отвечающим за исследования по созданию компьютерной сети ARPANET. В 1967 г. на конференции в Ann Arbor (штат Мичиган) он представляет свою работу [70], суммирующую результаты по созданию ARPANET. В 1969 г. Л. Робертс становится директором IPTO-подразделения ARPA, ответственного за развитие ARPANET. В 1971 г. ему

шение по строительству подсети с четырьмя узлами¹ с коммутацией пакетов, «где каждый хост имел бы собственный маршрутизатор» [54, с. 72–73]. Фундаментом этого решения послужило предложение эксперта Уэса Кларка (Wesley Allison Clark: 1927)², работавшего тогда для Университета штата Вашингтон.

В декабре 1969 г. экспериментальная ARPANET была запущена.

Успех сети ARPANET в значительной степени связан с созданием электронной почты. Первую систему обмена текстовыми сообщениями в ARPANET создал Рэй Томлинсон (Raymond Samuel Tomlinson: 1937)³ в 1971 г.



Сеть ARPANET
(см. [54], рис. 1.24a)

было доверено послать первое официальное сообщение по электронной почте. (Создателем электронной почты является Рэй Томлинсон (см. конец параграфа)). После ухода из ARPA (1973) Л. Робертс руководит созданием программного и технического обеспечения компьютерных сетей. Л. Робертс был отмечен многими наградами, в том числе медалью «Пионер компьютерных исследований» [56].

¹ Еще два узла – это подразделения Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе и Санта-Барбаре (UCLA и UCSB), Исследовательский Институт Стэнфорда (SRI) и университет штата Юта.

² У. Кларк, один из создателей мини-компьютеров (предшественников персональных компьютеров), учился в Беркли и в MIT. В 1999 г. избран академиком Национальной Инженерной Академии США [71].

³ Р. Томлинсон родился в городке Амстердам (штат Нью-Йорк) в 1937 г. В этом же штате он окончил среднюю школу и поступил в городке Трой (Трой, штат Нью-Йорк) в Политехнический институт им. Ренселаера (RPI). В 1963 г. получил там степень бакалавра электро-инженерии. В 1965 г. уже в MIT Р. Томлинсон получает степень магистра электро-инженерии. С 1967 г. связан через компанию BBN (Bolt, Baranek and Newman) с созданием операционной системы для ARPANET Network Control Protocol. В 1971 г. создает электронную почту. В 2012 г. Р. Томлинсон был удостоен постоянного места в Зале Славы Интернета [72].

Именно Р. Томлинсон разделил значком @ имя «кому» (слева от значка) от адреса «куда» (справа от значка). Этот значок использовался еще древними римлянами для обозначения цены товара. Не случайно в англоязычных финансовых кругах его называют «э коммерческий».

Фактически в 1971 г. Р. Томлинсон написал программу SNDMSG (Send Message), которая и легла в основу обмена текстовыми сообщениями сети ARPANET [72]. Уже в 1973 г. 75 % всего трафика ARPANET составляла электронная почта. Забегая вперед, добавим, что через 20 лет (т. е. в 1993 г.) появится сеть Netscape, в рамках которой возможно общение как голосовое, так и визуальное.

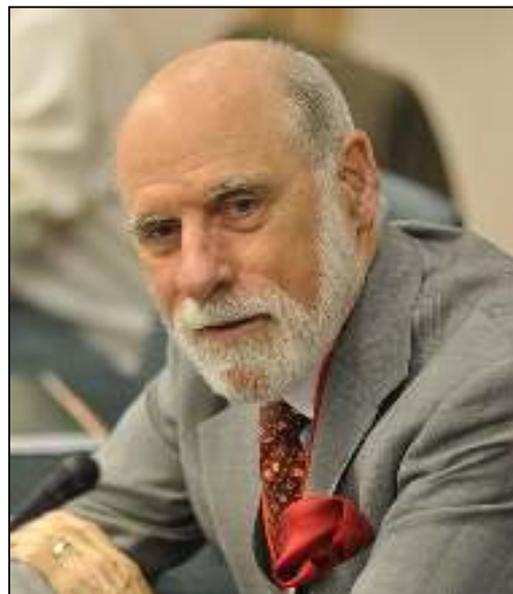
Создание сети ARPANET, ее развитие и функционирование оказало влияние на решение Национального научного фонда США (NSF) начать в 1981 г. строительство собственной сети CSNET, положившей начало построению глобальных сетей.

§ 26. Глобальные компьютерные сети

Итак, в 1981 г. по инициативе Национального Научного Фонда (NSF) была создана сеть CSNET (Computer Science Network). Эта сеть соединила кафедры информатики многих университетов, а также научно-исследовательские лаборатории как университетов, так и некоторых корпораций с сетью ARPANET.

В конце 80-х гг. NSF решил создать преемника сети ARPANET, соединив для начала имевшиеся открытые суперкомпьютерные центры в городах: Боулдер (Boulder), штат Колорадо; Шампейн (Shampaign), штат Иллинойс; Итака (Itaka), штат Нью-Йорк; Сан-Диего (San Diego), штат Калифорния; Питтсбург (Pittsburgh), штат Пенсильвания и Принстон (Princeton), штат

Нью-Джерси. Как видно, эта сеть имела уже многие черты глобальной сети, охватывая территорию в несколько миллионов квадратных километров и протянувшись в нескольких часовых поясах. При этом сеть функционировала на основе протоколов TCP/IP¹. Впервые эти протоколы встречаются в сети ARPANET, а их описание впервые дано в 1974 г. в книге В. Серфа² и Р. Кана³ [73], которых не случайно называют «отцами» Интернета.



Винт Серф

¹ TCP = Transmission Control Protocol; IP = Internet Protocol.

² Винт Серф (Vinton Gray Serf) родился в 1943 г. в г. Нью-Хевен (New Haven, штат Коннектикут). После получения степени бакалавра по математике в Стэнфордском университете некоторое время работал в фирме IBM. Затем продолжил учебу в Калифорнийском университете (UCLA), где получил степени магистра (1970) и Ph. D. (1972), одновременно работая у профессора Л. Клейнрока над созданием ARPANET. Там же в UCLA В. Серф познакомился с Бобом Каном, который работал над аппаратным обеспечением ARPANET, и они вместе создали протоколы TCP и IP. Позже преподавал в Стэнфорде, был руководителем программ в Агентстве перспективных исследовательских военных проектов (DARPA), а в конце 80-х занимался развитием электронной почты. Кроме протоколов для Интернета В. Серф известен работами по мультипроцессорам и моделью вычислений на основе структуры графа (аналог российских блок-схем) [74]. Имеет много наград, включая и премию Тьюринга (2004 г., вместе с Р. Каном) [75]. В 2012 г. ACM избрало В. Серфа своим президентом.

³ Роберт («Боб») Кан (Robert Elliot Kahn) родился в 1938 г. в Нью-Йорке. Получив в 1960 г. степень бакалавра по электротехнике, продолжил учебу в Принстоне, где получил степени магистра (1962) и Ph. D. (1964). После защиты докторской диссертации Р. Кан работает в знаменитой Bell Labs фирмы AT&T, а позже преподает в MIT. С 1972 г. начинает работать по проекту ARPA и помогает В. Серфу в создании протоколов TCP и IP. После 13 лет работы в DARPA Р. Кан основывает в 1986 г. собственную корпорацию National Research Initiative (CNRI) и остается до 2009 г. ее главой. Среди многочисленных наград, включая премию им. Тьюринга (2004) [75], отметим полученное Р. Каном звание почетного доктора Санкт-Петербургского Университета информационных



Роберт Кан

В том же 1974 г. было создано первое коммерческое приложение ARPANET-Telnet, которое обеспечило доступ к удаленным компьютерам в режиме терминала¹.

В 1988 г. 19 региональных локальных сетей, создание которых также профинансировал NSF, были соединены с сетью суперкомпьютерных центров. Новая сеть была названа NSFNET. Она соединялась и с сетью ARPANET через узел в университете Карнеги-Меллона [54].

В 1990 г. владельцем сети NSFNET стала некоммерческая корпорация ANS (Advanced Networks and Services, Inc.), назвавшая усовершенствованную сеть ANSNET (просуществовала еще пять лет). К этому времени (т. е. к 1995 г.) концепция единой магистрали заменилась коммерчески управляемой конкурентной инфраструктурой.

Заметим, что в эти же пять лет в Европе появилась сеть EUROPANET, явившаяся IP-магистралью для исследовательских организаций Европы².

Поскольку самым дорогостоящим научным центром Европы в начале 90-х гг. XX века стал CERN³, то не случайно именно на

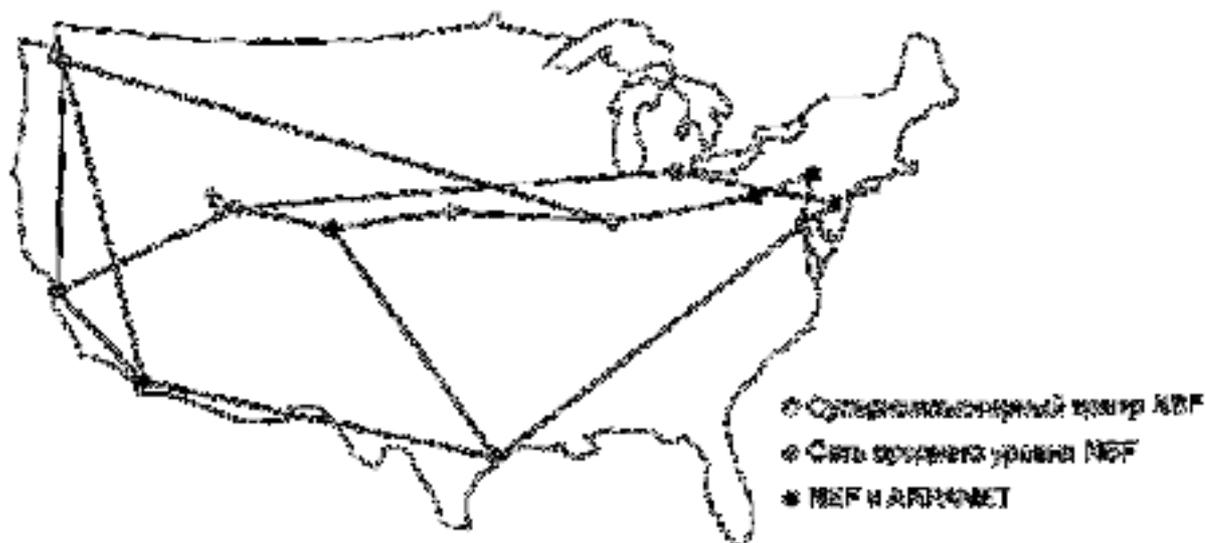
технологий, механики и оптики (ИТМО) – всемирно известной кузницы победителей олимпиад по информатике (студентов и школьников).

¹ Фактически тогда Telnet использовался для удаленного доступа к интерфейсу командной строки операционных систем.

² Для будущего Евросоюза, который по замыслу его создателей должен был охватить всю Европу, кроме России, важное значение имело создание коммерчески ориентированной сети EBONE.

³ CERN (the European Organization for Nuclear Research) – это организация, созданная в 1954 г. в Женеве, на границе Швейцарии и Франции, для исследований в области ядерной физики.

его базе в 1994 г. в Женеве прошла первая конференция по созданию и развитию «Всемирной паутины» World Wide Web (WWW). В результате появился консорциум World Wide Web (W3) при Лаборатории информатики (LCS) MIT во главе с Тимом Бернерсом-Ли¹. Консорциум занимается созданием и внедрением стандартов для Интернета.



Магистраль сети NSFNET в 1988 г. (см. [54], рис. 1.25)

Вернемся в 1983 г. С 1 января вступили в силу единые Протоколы Обмена Данными (Transfer Control Protocol/Internet Protocol (TCP/IP)²). И именно в этот год комитет Министерства обороны, наблюдавший за сетью ARPANET, был переименован в **Internet** Activities Board (IAB), т. е. в Совет по деятельности Интер-

¹ Т. Бернерс-Ли (Sir Timothy John Berners-Lee: 1955) родился в Лондоне в семье профессиональных математиков, участвовавших в создании одного из первых компьютеров «Manchester Mark I». В 1976 г. Т. Бернерс-Ли окончил Queen's College Оксфордского университета со степенью бакалавра первого разряда по физике. Далее была работа в разных фирмах, в том числе и полгода (с июня по декабрь 1980 г.) в CERN. В 1984 г. он приходит в CERN и работает там 10 лет до перехода в 1994 г. в MIT. В 2004 г. избирается профессором университета древнего города-порта Саутгемптон (основан в 43 г. н. э.) на юге Англии. В 2009 г. Т. Бернерс-Ли избран иностранным членом Национальной Академии Наук США [76].

² Не случайно именно этот день многие считают днем рождения Интернета как «сети сетей».



Тим Бернерс-Ли

нета. С этого времени Интернет перестает быть только исследовательским проектом.

Впрочем, уже в 1989 г. комитет IAB разделяется на группу исследователей Интернета (IRTF) и группу проектирования Интернета (IETF). Кроме того, был формализован процесс стандартизации, при этом некоторые стандарты Интернета стали стандартами Министерства обороны США.

Заметим, что в том же 1989 г. Т. Бернерс-Ли, работая в CERN, предложил глобальный гипертекстовый проект, известный ныне как «всемирная паутина», и этот проект был утвержден для реализации (см. [77]), предназначаясь первоначально для ученых из CERN.

Заметим, что, независимо от Тима Бернерса-Ли, систему гипертекста для доступа к документации CERN в том же 1989 г. предложил работавший в CERN с 1974 г. магистр в области компьютерных наук бельгиец Роберт Кайо¹.

¹ Р. Кайо (Robert Cailliau: 1947) родился в Бельгии в г. Тонгерен. В 1958 г. вместе с родителями переехал в Антверпен, где и закончил среднюю школу. Далее учился в Гентском университете. Получив в 1969 г. диплом инженера-электротехника, продолжил учебу в Мичиганском Университете (США). В 1971 г. получил степень магистра компьютерных наук и систем управления. С 1974 по 2007 г. работал в CERN. С 1994 по 2004 г. был членом Международного руководящего комитета «Всемирной паутины», отвечая за разработку и осуществление совместного с Европейской Комиссией проекта «Интернет для школ». Отметим также, что еще 30 апреля 1993 г. работа Р. Кайо совместно с юридическими службами CERN привела к тому, что разработанные в CERN интернет-технологии стали общественным достоянием [78]. В 1995 г. совместно с Т. Бернерсом-Ли награжден обществом ACM премией Software System Award.

К концу 1990 г. появилось приложение Gopher – сетевой протокол распределенного поиска и передачи документов, которое позволило свободно перемещаться по любым глобальным сетям без предварительного знания адресов необходимых серверов. Приложение Gopher было создано в Университете Миннесоты группой под руководством Марка П. Маккахилла (Mark P. McCahill: 1956) [79].



Роберт Кайо

В это время в рамках проекта CERN Т. Бернерс-Ли вместе с группой помощников изобретает идентификаторы URL, протокол HTTP (Hyper Text Transmission Protocol) и язык HTML. Он же пишет первый веб-сервер «http» и первый гипертекстовый браузер «World Wide Web». (Протокол HTTP после своего появления в 1993 г. в силу своих возможностей почти полностью вытесняет протокол Gopher [54]. Тем не менее протокол Gopher все еще поддерживается многими современными веб-браузерами, и в Интернете существует более 100 gopher-серверов.)



Марк Маккахилл

6 августа 1991 г. Т. Бернерс-Ли создает первый в мире веб-сайт по адресу <http://info.cern.ch>. О процессе создания «Всемирной паутины» Т. Бернерс-Ли подробно написал в вышедшей в 1999 г. книге [80].

В 1993 г. в США в Национальном Центре суперкомпьютерных приложений NCSA (National Center for Supercomputing Applications), находящемся в Университете Urbana-Champaign

(штат Иллинойс), был создан графический интерфейс к WWW – браузер Мозаик (Mosaic). Один из разработчиков этого браузера Марк Андрессен¹ (Mark Lovell Andreessen: 1971) вместе с Джеймсом Кларком² основал компанию по коммерческому использованию браузера Mosaic (Mosaic Communication Co.), что не понравилось Университету Иллинойса. В итоге компания была переименована в Netscape Communication, а браузер после усовершенствования в 1994 г. получил имя Netscape Navigator. Этот браузер позволил размещать во всемирной паутине в цвете графику, анимацию, аудио- и видеоданные. Netscape Navigator был

¹ М. Андрессен родился в 1971 г. в г. Cedar Falls, ставшим незадолго до этого третьим университетским городом штата Айова. Степень бакалавра компьютерных наук получил в Университете Urbana-Champaign в 1993 г. Именно там Марк вместе с Эриком Байна (Eric Bina: 1964) создает в Национальном Центре применения суперкомпьютеров (NCSA) Mosaic Web browser, который, по словам Роберта Меткальфа, и породил Netscape (R. Metcalfe: Info World, August 21, 1995, vol. 17, issue 34). Тогда же переехал в Калифорнию и стал работать в Enterprise Integration Technologies. Создание вместе с Д. Кларком компании Netscape было только началом успешной предпринимательской деятельности М. Андрессена [81]. Между 2005 и 2009 г. он был инвестором 45 стартапов, включая Twitter и Qik. Его состояние оценивается более чем в 600 млн долларов.

² Д. Кларк (James H. Clark: 1944) родился в Техасе в маленьком городке Plainview. Не закончив среднюю школу, он четыре года служил на флоте. Позже учился в колледже частного университета Тюлейн в Новом Орлеане, одновременно зарабатывая деньги на образование. В Университете Нового Орлеана он получил степени бакалавра и магистра физики. Поступив в аспирантуру Университета штата Юта, он защитил в 1974 г. докторскую диссертацию по компьютерным наукам. С 1974 по 1978 г. Д. Кларк assistant professor (= доцент) в Калифорнийском университете Santa Cruz, а в 1974–82 гг. – профессор-адъюнкт электро-инженерии Стэнфордского университета. В 1982 г. он вместе с несколькими дипломантами Стэнфордского университета основал фирму Silicon Graphics. Эта фирма стала вскоре лидером в производстве визуальных эффектов для фильмов Голливуда и в использовании 3D-технологии. В начале 90-х Д. Кларк покинул компанию Silicon Graphics. В 1993 г. он встретил М. Андрессена, и год спустя они вместе организуют фирму Netscape. Став весьма богатым человеком, Д. Кларк финансирует различные научные проекты в университете Нового Орлеана и в Стэнфордском университете. В частности, на его деньги (150 млн долларов) был построен Центр создания биомедицинской техники в Стэнфордском университете [82].

первым в ряду браузеров (Internet Explorer, Opera, Mozilla...) – программ для просмотра и скачивания содержимого сайтов.

Завершая этот параграф, коснемся глобальных компьютерных сетей вне ARPANET и Интернета.

12 мая 1958 г. вступило в силу американо-канадское межправительственное соглашение о создании Командования воздушно-космической обороны Северной Америки (НОРАД)¹, включающей в себя системы наземного наблюдения, системы воздушного наблюдения, системы мониторинга опасных объектов в космосе, а также составление каталога космических объектов, анализ и оценку возможных угроз для Северной Америки [83]. Нет нужды говорить, что выполнение этих задач невозможно без глобальной компьютерной сети, не связанной с сетями открытого доступа. Достаточно широко известен случай сбоя этой сети 9 ноября 1979 г., едва не повлекший катастрофические последствия для землян.

Другой закрытой глобальной компьютерной сетью является сеть наблюдения Военно-морского флота США как за своими су-



Марк Андруссен



Джеймс Кларк

¹ North American Aerospace Defense Command.

дами (надводными и подводными), так и за судами возможных противников с участием космических аппаратов.

Заметим, что система NAVSTAR GPS (Navigation Satellites Providing Time And Range. Global Positioning System) – система глобального позиционирования – создавалась исходя из нужд сетей ARPANET и Интернет, и ее частичное открытие произошло только после 1983 г. [84]. Было бы странно, если бы у СССР не было аналогов тех двух закрытых сетей. Впрочем, не случайно даты окончания строительства GPS (1993) и системы ГЛОНАСС (Глобальная Навигационная Система, декабрь 1995 г.) очень близки по времени [85].

Предшественницей системы ГЛОНАСС в СССР была гражданская космическая низкоорбитальная навигационная система «Цикада». Ее реальное воплощение началось 31 марта 1978 г. запуском спутника «Космос-1000», а идея была предложена еще в 1957 г. профессором Валентином Сергеевичем Шебшаевичем (1921–1993). Предшественницей «Цикады» была военная система «Парус», а еще раньше – «Циклон», принятая в опытную эксплуатацию еще в 1970 г. (Начало системы положил спутник «Космос-158», запущенный 15 апреля 1967 г.)

Развитием системы «Цикада» стала система «КОСПАС».

Американским аналогом системы «Циклон» была система «Транзит», начатая запуском спутника «Transit-1A» 17 сентября 1959 г. Последний спутник этой системы «Transit-O31» был запущен 25 августа 1988 г. Эксплуатация системы прекращена в 90-е гг.

К чисто российской¹ можно отнести глобальную спутниковую систему связи «Гонец 1ДМ». Начало ее создания относится к 1996 г.

¹ Вынужден так говорить, поскольку навигационная система «Надежда», начало строительства которой относится к 1982 г., позиционируется теперь как украинская навигационная система.

Упражнения

1. Кем была предложена в середине VIII века идея электрического телефона? Как действовал электрохимический телеграф Дона Франциско Сальва?
2. В чем было основное различие в патентах на изобретение телефона между заявками Антонио Меуччи (1874) и Александра Белла (1876)?
3. Расскажите о претендентах на изобретение радио.
4. Дайте определение локальной компьютерной сети. В чем различие связи в компьютерной сети между соединением «от узла к узлу» и «широковещательными каналами»?
5. Чем отличалась дискретная система АЛОНА от непрерывной?
6. Кто автор первого обмена текстовыми сообщениями в сети ARPANET? Кто автор протоколов TCP/IP и где впервые появилось их описание?
7. Чем занимается консорциум World Wide Web? Когда появился сетевой протокол распределенного поиска и передачи документов Gopher? Под чьим руководством он был создан? Когда официально было закончено строительство систем NAVSTAR GPS и ГЛОНАСС? Какие другие глобальные компьютерные системы существуют и строятся?

Глава VIII. Взаимодействие человека и компьютера (НСИ)

Введение

Напомним, что «взаимодействие человека и компьютера» (НСИ)¹ – это «дисциплина, занимающаяся проектированием, оценкой и осуществлением работы интерактивных вычислительных систем для использования человеком, а также изучением происходящих процессов» [86].

С формальной точки зрения понятие взаимодействия человека и компьютера лежит на стыке эргономики, инженерной психологии, когнитивной науки, компьютерной графики и др.

В информатике очень часто это понятие заменяют понятием *интерфейса*. При этом выделяют собственно интерфейс (устройства ввода и вывода) и внешние интерфейсы: принтер, сканер, копир, факс. Кроме того, есть интерфейсы, призванные облегчить построение сетей [87].

В первом параграфе этой главы мы будем заниматься, главным образом, собственно интерфейсом. Во втором параграфе речь будет идти как о внешних интерфейсах, так и о интерфейсах, влияющих на построение сетей.

До начала 60-х гг. XX века ввод и вывод информации в компьютеры осуществлялся последовательно на перфокартах, перфолентах и с помощью телетайпа. Позже пробила себе дорогу идея использования электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) в качестве дисплея, а не только формы контроля за вводимой информацией

¹ Human-computer interaction.

(т. е. фактически использования телевидения). Экранные терминалы до середины 70-х были еще весьма дороги. Их могли использовать только весьма крупные фирмы. Появление RF-модуляторов, преобразующих композитный видеосигнал в сигнал, адаптированный к телевизорам, резко расширило круг и качество общения человека и компьютера. Стало возможным широкое использование интерфейса компьютера для обучения. Это относилось как к США, так и другим странам, включая СССР¹.

Впрочем, идея использования интерфейса компьютера для целей обучения не нова. Еще в 1952 г. в рамках национальной конференции АСМ в Питтсбурге вышла работа Грейс Хоппер (Grace Murray Hopper: 1906–1992)² «The Education of a Computer» [89], в которой ставилась проблема эффективности обучения с помощью компьютера. В СССР проблемами школьной информатики уже в 70-е гг. активно занимался академик Андрей Петрович Ершов (1931–1988)³ [90]. Именно ему принадлежит знаменитая

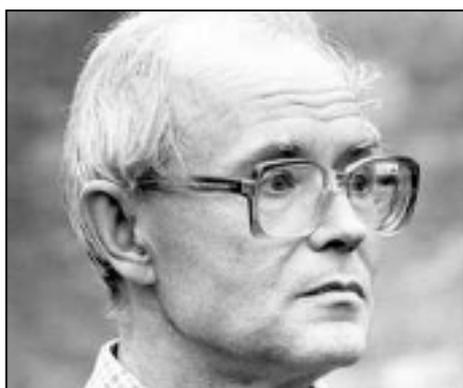
¹ В СССР в связи с широким распространением в 70-е гг. знаний по операционной системе ОС ЕС даже не в инженерных вузах велись работы по внедрению диалоговой телеобработки для дисплеев ЕС-7066 (см., например, [88]).

² Г. Хоппер (урожденная Мюррей) родилась в Нью-Йорке в 1906 г., в 1928 г. получила степень бакалавра по математике и физике в Vassar College, а магистерскую (1930) и докторскую степени (1934) по математике – в Йельском университете. Научным руководителем ее Ph. D. был Ø. Ore. В 1943 г. она пошла добровольцем в Военно-Морской флот США, дослужившись до звания контр-адмирала. С 1944 г. служила в бюро Вычислительных проектов Гарвардского университета, работая вместе с Говардом Айкеном (см. [1, с. 39–40]). В 1949 г. перешла в компьютерную корпорацию Эккерта-Моучли, занимаясь развитием UNIAC I. Позже ее интересы были связаны с развитием языков программирования (в частности, языка FLOW-Matic), а также софта для COBOL (COmmon Business Oriented Language), одного из старейших языков программирования (первая версия появилась еще в 1959 г.), используемого в основном для разработки бизнес-приложений. Отметим, что более 20 лет COBOL был самым распространенным языком при написании программ для бизнеса.

³ А. П. Ершов родился в 1931 г. в Москве. В 1954 г., по окончании механико-математического факультета МГУ, был принят в аспирантуру. После защиты диссертации (1957) возглавил отдел теоретического программирования ВЦ



Грейс Хоннер



А. П. Ершов

фраза «Программирование – вторая грамотность», сказанная им еще в 1981 г. в Лозанне на конференции ЮНЕСКО по применению ЭВМ в обучении.

Эргономические проблемы взаимодействия человека и компьютера были впервые поставлены в работах Брайана Шэкеля (Brian Shackel) 1959, 1962 и 1965 гг. [92–94]. Им же в 1997 г. опубликована написанная годом ранее работа [95], содержащая 141 позицию библиографии и дающая попытку периодизации истории взаимодействия человека и компьютера¹.

По мнению Б. Шэкеля, в истории взаимодействия человека и компьютера (HCI) можно выделить три периода:

а) начала HCI (1950–1970);

б) создания основ HCI (1970–1985);

в) развития HCI (1985–1995).

В принципе, с подобной периодизацией можно согласиться с поправкой, что период развития HCI продолжается и в настоящее время. Не случайно, «говорящая перчатка»² украинских студен-

АН СССР. Опубликованная им в 1958 г. работа по трансляции на БЭСМ [91] была сразу же переведена в Англии. Переехав в 1960 г. в Новосибирск, он возглавил работы по автоматизации программирования. Под его руководством были созданы языки: «Альфа», «Бета», «Лексикон» и др. Особо значима его роль в развитии школьной информатики в России.

¹ Подробнее оценку этой статье дал в 2009 г. в работе [96] Джонатан Грудин (Jonathan Grudin).

² Эти сенсорные перчатки позволяют немым людям общаться с теми, кто не знает азбуки глухонемых, превращая движения пальцев в голос или текст с помощью смартфона через Bluetooth [97].

тов Донецкой компьютерной академии, выигравших в июле 2012 г. Международный конкурс IT-технологий в Сиднее, организуемого ежегодно фирмой Microsoft, вошла в список важнейших инноваций 2012 г.

Появившиеся в 1960, 1963 и 1965 гг. работы [98–100] Джозефа Ликлидера (Joseph Carl Robnett Licklider: 1915–1990)¹ уже охватили большинство аспектов взаимодействия человека и компьютера², за исключением психологической проблематики, представленной в работе [101] 1962 г. Н. Жордэна (N. Jordan).

В 1962 г. д-р Дуглас Энгельбарт (Douglas Carl Engelbart: 1925)³ из Стэнфордского Исследовательского Института закон-



Джозеф Ликлидер

¹ Д. Ликлидер родился в 1915 г. в красивом городе Сент-Луис (штат Миссури). В 1937 г. он получил степень бакалавра в Университете им. Вашингтона (Сент-Луис) сразу по трем специальностям: математике, физике и психологии, а год спустя – степень магистра психологии. Степень Ph. D. им получена в 1942 г. в Университете г. Рочестера по психо-акустике. С 1943 по 1950 г. Д. Ликлидер работал в Лаборатории Психо-Акустики Гарвардского университета. В 1950 г., заинтересовавшись информационными технологиями, Д. Ликлидер перешел в MIT и основал там Лабораторию им. Линкольна. Кроме того, по его инициативе студентам инженерной специальности стал читаться курс инженерной психологии. В 1962 г. он становится руководителем Информационного бюро (IPTO) в ARPA. Назначенный в 1963 г. директором Исследовательского отдела (BSC & CR) в ARPA, он выдвигает проект создания ARPANET. С 1968 г. Д. Ликлидер стал директором проекта MAC (первоначально это было сокращение от Mathematics and Computation, затем – от Multiple Access Computer, и, наконец, Man and Computer), начатого 1 июля 1963 г. В рамках этого проекта была создана, в частности, операционная система Multics, предшественница UNIX [102].

² К этому циклу следует добавить и совместную работу Д. Ликлидера и У. Кларка 1962 г. [103].

³ Д. Энгельбарт родился в г. Портленде (штат Орегон) в 1925 г. В 1942 г. по окончании средней школы им. Б. Франклина поступил в Университет штата

чил достаточно детальный план исследований, посвященный «усилению» человеческого интеллекта (опубликован год спустя [103]), который заинтересовал военное ведомство США и на реализацию которого были выделены значительные средства. Созданный на эти средства научный центр ARC (Augmentation Research Center) под руководством Д. Энгельбарта разработал в рамках oN-Line System и гипертекст, и задатки графического



*Дуглас Энгельбарт
на презентации 09.09.1968 г.*

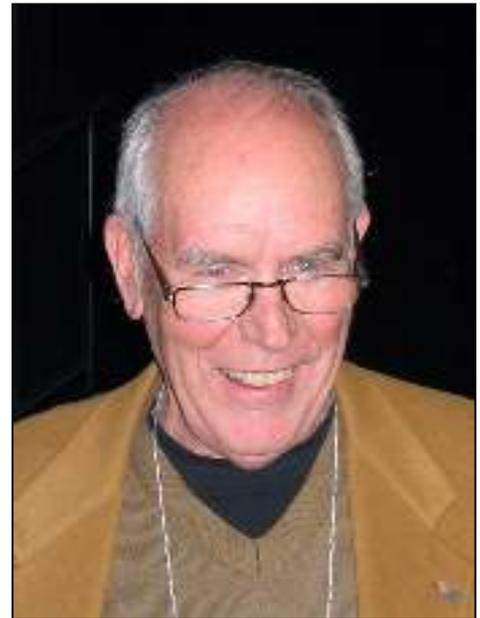
интерфейса пользователя, и вывод растрового изображения на экран, и в 1967 г. – мышь. Эти результаты были продемонстрированы 9 сентября 1968 г. на знаменитой презентации «The Mother of all Demos»¹ [104]. Кроме Стэнфорда в начале 60-х проблемами взаимодействия человека и компьютера активно занимался и MIT. Нельзя забывать, что там в это время работал Клод Шеннон (CLaude Elwood Shannon: 1916–2001²). Среди учеников К. Шеннона отметим уроженца штата Небраска Айвона Сазерленда (Ivan Edward Sutherland: 1938), который в 1963 г. изобретает «скет-

Орегон. В начале 1945 г. призван в Военно-морской флот США и служит два года радистом на Филиппинах. Возвратившись в университет уже в 1948 г., получает степень бакалавра по электротехнике. До 1951 г. работает в Исследовательском центре г. Эймса (штат Айова), после чего поступает в Калифорнийский Университет в Беркли, где в 1953 и 1955 г. получает последовательно степени магистра и Ph. D. С 1957 г. работает в Стэнфордском исследовательском институте. Имеет много наград, включая медаль «Пионера компьютерной техники» 1992 г. [105]. (О других аспектах его деятельности см. также [2].)

¹ Эта фраза принадлежит колумнисту и техническому редактору журнала «Newsweek» Стиву Леви (Steven Levy: 1951).

² Биографию К. Шеннона см. в: [1, с. 156–158].

чпад» (Sketchpad)¹ – инновационную программу интерактивного взаимодействия с компьютером. Скетчпад был программой, реализующей графический интерфейс пользователя, позволяющий ему работать со световым пером. Таким образом, скетчпад оказался прародителем САПРа. Через 25 лет сенсорное указательное устройство («пальцевая» мышь) ввода, применяемое чаще всего в ноутбуках, было названо тачпадом (touchpad)². Так, скетчпад можно было бы назвать первым в мире прототипом тачпада.



Айвон Сазерленд

В своей докторской диссертации³, написанной к 1963 г. в MIT под руководством К. Шеннона, А. Сазерленд не только определил компьютерную графику как науку, но и четко поставил проблему улучшения взаимодействия между человеком и компьютером, сделав одной из основных целей при создании компьютеров удобство пользователей и восприимчивость к потребностям пользователей⁴.

¹ За создание этой программы А. Сазерленд в 1988 г. был награжден премией им. Тьюринга.

² Напомним, что сенсорную панель (тачпад) изобрел в 1988 г. Джордж Герфайд (George E. Gerpheide). Тачпады очень быстро нашли широкое применение. Например, в компьютерах Библиотеки Конгресса США уже в 1991 г. для удобства читателей были установлены тачпады, о чем свидетельствует, пользовавшийся тогда Библиотекой Конгресса, автор данной книги.

³ Sutherland's 1963 Ph. D. Thesis from Massachusetts Institute of Technology «Sketchpad, A Man-Machine Graphical Communication System».

⁴ А. Сазерленд родился в г. Гастингсе (Hastings) штата Небраска в 1938 г. Степень бакалавра и магистра он получил в CalTech (Carnegie Mellon University), а докторскую степень (Ph. D.) – в MIT в 1963 г. В 1964 г. А. Сазерленд сменил Д. Ликлидера на посту Руководителя Информационного бюро (ИПО) при Министерстве обороны США, когда Д. Ликлидер решил вернуться в MIT.

Несколько раньше, чем А. Сазерленд, проблемами взаимодействия человека и компьютера (HCI) заинтересовался основатель Британского Компьютерного Общества и его первый президент (1957–1960) Морис Уилкс (Sir Maurice Vincent Wilkes: 1913–2010)¹.

В 1965–68 гг. А. Сазерленд преподает в Гарварде на факультете Электротехники. В 1967 г. вместе со своим студентом Данни Коэном (Danny Cohen) создает известный алгоритм Данни-Сазерленда для графического изображения движущейся линии. С 1968 по 1974 г. А. Сазерленд – профессор Университета в Юте. Одновременно для реализации своих идей А. Сазерленд вместе со своим другом Давидом Эвансом (David C. Evans) основывает компанию «Эванс и Сазерленд», занимавшуюся пионерскими разработками разных компьютерных технологий, например, 3D компьютерной графикой. С 1974 по 1978 г. А. Сазерленд – профессор компьютерных наук в Калифорнийском Технологическом Институте [106]. Среди его многочисленных наград, кроме упомянутой выше премии им. Тьюринга, есть премия им. Зворыкина (1972) – признанного русско-американского инженера, одного из основных создателей телевидения, изобретателя электронного микроскопа.

¹ М. Уилкс родился в городе Дадли (Dudley) в средней части Англии в 1913 г. По окончании Колледжа Короля Эдуарда VI в Стурбридже (Stourbridge) продолжил свою учебу по математике в 1931–34 гг. в Колледже Св. Джона Кембриджа, защитив докторскую диссертацию по физике в 1936 г., изучая распространение радиоволн в ионосфере. Во время II Мировой войны служил в армии, обслуживая радары. В 1945 г. М. Уилкс был назначен директором Математической Лаборатории Кембриджского университета (известной как компьютерная лаборатория). В этой лаборатории кроме изучения EDVAC и ENIAC была начата работа над малым компьютером EDSAC, законченная в мае 1949 г. В этой же лаборатории было начато развитие микропроцессоров, реализованное в EDSAC-2. Для следующего компьютера, названного «Титан», в 60-е гг. была разработана операционная система, многие идеи которой были реализованы позже в UNIX. С начала 70-х М. Уилкс начинает реализовывать идеи символьных меток, макросов и библиотек подшаблонов, т. е. тех объектов, с помощью которых в десятки раз увеличивается эффективность работы с приложениями [107]. (Любопытно, что в СССР в 1976 г. к идее использования шаблонов пришел независимо Александр Александрович Степанов (Alex Stepanov: 1950) – русско-американский ученый, учившийся в МГУ и МОПИ, уехавший в 1977 г. в США и ставший в начале 90-х гг. основным разработчиком Standard Template Library (TSL) (с 1994 г. – это часть официального языка C++). Подробнее о А. А. Степанове речь пойдет в конце следующей главы.)

В частности, в 1962 и 1966 гг. появились его работы, посвященные проблеме компьютерной графики [108; 109].

Есть одно применение знаниям в области HCI, которое потребовало создания качественного человеко-компьютерного интерфейса, а именно – пилотируемые полеты человека в космос. Еще на заре этих полетов и в СССР, и в США проявлялся интерес к данной тематике.



Морис Уилкс

В этой связи отметим работу Р. Воас (R. V. Voas) 1961 г. о проекте Меркурий (Mercury) с точки зрения инженерной психологии [110], а также доклад одного из руководителей первого американского проекта полета человека в космос профессора Саула Гасса (Saul I. Gass: 1926)¹ на Eastern Joint Computer Confe-

¹ С. Гасс родился в феврале 1926 г. в г. Челси (пригороде Бостона) штата Массачусетс в семье еврейских эмигрантов из России, приехавших в США в начале 1914 г. По окончании Бостонского лицея Roxbury Memorial в 1943 г. он поступает в колледж при Northeastern University и учится там год до призыва в армию. С января 1945 г. С. Гасс – в действующей армии, участвует в боях во Франции и Австрии. Демобилизованный в 1946 г., возвращается в Северо-восточный университет, но вскоре переводится в Бостонский и в июне 1949 г. получает степень бакалавра образования со специализацией «математика». За лето 1949 г. он сумел изучить дополнительные предметы и получить степень магистра математики. В ноябре 1949 г. ему предлагают работу в ВВС США в группе изучения баллистики бомбометания в Лос-Анджелесе. В 1952 г. его переводят в Пентагон в Руководство Аналитическим управлением ВВС США. В Пентагоне С. Гасс занимается проектом SCOOP (Scientific Computation of Optimal Programs) – развития линейного и математического программирования, начатым в июне 1947 г. и фактически руководимым с октября 1948 г. экономистом Маршаллом Вудом (Marshall Wood) и математиком Д. Данцигом (George Bernard Dantzig: 1914–2005) (см. [112; 113]), получившим важные приложения к экономике, статистике, операционному исчислению и компьютерным наукам. С. Гасс добивается в рамках проекта выделения средств для создания компьютера Standard Eastern Automatic Computer

gence (1961) «Роль цифровых компьютеров в проекте “Меркурий”» [111].

Поскольку тематика работ по НСИ в условиях пилотируемого полета имеет большое значение и для военной авиации, многие работы 70-х и даже 60-х гг. остаются пока засекреченными¹.

В 60-е и 70-е гг. когнитивные исследования в области взаимодействия человека и компьютера были нацелены прежде

(SEAK), используемого в Национальном Бюро Стандартов. Уже в процессе этой работы С. Гасс изучает разные стороны взаимодействия человека и компьютера. Впрочем, он не забывает и о линейном программировании, подготовив (с В. Райли) первую полную библиографию линейного программирования [114] (см. также [115, с. 18]). Именно эта библиография познакомила научное сообщество США с работами будущего Нобелевского лауреата по экономике Л. В. Канторовича и его учеников. В 1955 г. С. Гасс переходит в IBM, где в число решаемых им задач входила подготовка к продажам и инсталляция компьютеров. В 1960 г. он становится в IBM руководителем группы моделирования (Simulation) проекта Mercury (Man-in-Space Program). Была создана система автоматического расчета траектории полета, опирающаяся на два компьютера IBM 7090, установленных в Центре им. Годдарда. В 1965–69 гг. С. Гасс занимается в IBM разработкой компьютерной графики. С 1975 г. связан с Мэрилендским университетом, будучи профессором (и руководителем) факультета Менеджмента в науке и Статистики. Список его наград и отличий весьма длинен, как и список его научных трудов (свыше 140) [116].

¹ Если говорить об СССР, то проблемами эргономики и инженерной психологии взаимодействия человека и управляющих устройств космического корабля, включающих бортовой компьютер, занимались и в Институте авиационной медицины Министерства обороны СССР, и в Военно-Медицинской Академии им. С. М. Кирова, и в отделе нейрофизиологии НИИ экспериментальной медицины АМН СССР и, наконец, с момента создания (04.11.1963), в Институте космической биологии и медицины Министерства здравоохранения СССР, переименованного в 1965 г. в Институт медико-биологических проблем. Проблемами доступа к информации и ее передаче, а также освобождения пользователя от рутинных обязанностей за счет возложения части функций контроля на компьютер занимались: Институт теоретической механики и вычислительной техники АН СССР, с 1962 г. – ИППИ (Институт проблем передачи информации) АН СССР, а с 1978 г. – Ленинградский научно-исследовательский вычислительный центр АН СССР (с 1991 г. – СПИИРАН). В открытой печати освещение проблематики НСИ началось с 1958 г. с публикации обзоров американских работ в журнале «Вопросы психологии».

всего на изучение восприятия, памяти и внимания. Повышение уровня удовлетворенности пользователя интерфейса опиралось на сокращение количества ошибок и времени ввода и вывода информации [86].

При этом, если речь идет о восприятии, то важна четкость получаемой информации, отсутствие похожих сигналов. Если речь идет о внимании, то важна пространственная концентрация информации; в определенных случаях ее дублирование разными органами восприятия (зрительная, голосовая, тактильная форма). Что касается памяти, то важно пользоваться структурированной информацией за счет меню, перечней – и при этом иметь защиту «от дураков», чтобы случайное нажатие на клавиатуре не приводило к необратимым последствиям [117; 118].

Вернемся в 50-е гг. XX века. Тогда, по крайней мере в теории, была поставлена проблема удобного подключения к компьютеру дополнительных устройств. Первоначально вся периферия подключалась напрямую к системной шине. Однако это оказалось неэффективно, так как слишком большую роль при этом играла техническая подготовленность пользователя и другие факторы, включая настроение пользователя. Уже появление принтеров привело к необходимости создания внешнего интерфейса.



Саул Гасс



Л. В. Канторович

В 60-х гг. было создано два типа подключения периферийных устройств: *последовательный* и *параллельный*. Достоинством последовательного интерфейса была возможность использования длинного кабеля и, кроме того, он позволял строить сети. Параллельный интерфейс был быстрее (за единицу времени можно было передать несколько бит информации, в отличие от последовательного подключения, где можно было передать лишь один бит) и дешевле. «Старейшим» последовательным интерфейсом является интерфейс RS-232 (Recommended Standard 232), разработанный в 1962 г. Ассоциацией Электронной Промышленности (EIA)¹. Этот интерфейс служит для передачи информации между двумя устройствами (первоначально – между терминалом и коммуникационным устройством). При этом передача двоичных данных происходит последовательно асинхронно на расстояние



Ван Ань

до 15 метров. Передаваемый цифровой сигнал имеет два уровня напряжения. Интерфейс RS-232 хотя и был максимально универсален, но так как спецификации не были жестко прописаны, то до середины 80-х гг. оставалась проблема электрической несовместимости [87; 106].

В 1970 г. подразделение фирмы Ван Аня² (Wang Laboratories) пред-

¹ EIA = Electronic Industries Association просуществовала до 1997 г.

² Ван Ань (Wang An: 1920–1990) родился в Шанхае. В 1940 г. закончил Шанхайский университет транспорта и коммуникаций по специальности электротехника. В 1945 г. поступил в Гарвардский университет, где не только получил степень магистра по электротехнике, но и защитил докторскую диссертацию (1948). Далее работал с Говардом Айкеном (Aiken Howard: 1900–1973) над проектом полностью электронного компьютера Айкена Mark IV. В 1951 г. Ван организовал с Гэю Чу (Ge-Yao Chu: 1918–2011) собственную компьютерную фирму Wang Laboratories, которая успешно конкурировала даже с

ставило матричный принтер Centronics Model 101, включавший и первый параллельный интерфейс. Этот интерфейс был разработан двумя сотрудниками: Р. Говардом (Robert Howard: 1923) и П. Робинсоном (Prentice Robinson), получившим образование военного летчика¹. Стандарт параллельного интерфейса – Centronics Port – оказался весьма удачным.

Вернемся теперь на 5 лет назад, в 1965 г. В этот год компания Hewlett-Packard разработала так называемую интерфейсную шину (Hewlett-Packard Interface Bus) для использования в автоматизированном измерительном оборудовании. Через 10 лет, в 1975 г., американский Институт инженеров электротехнической и электронной промышленности сертифицировал эту шину как IEEE-488. Оказалось, что шина IEEE-488 способна существенно облегчить построение сетей, что впервые было использовано для интерфейса периферии микрокомпьютеров фирмы HP (стримеров, принтеров, плоттеров и т. д.). Неслучайно эта шина известна и под названием «Интерфейсная шина общего назначения».

В СССР по ГОСТ 26.003.-80 она названа «Система интерфейса для измерительных устройств с байт-последовательным, бит-параллельным обменом информацией».

К 1986 г. относится появление универсальной шины для подключения как внешних, так и внутренних устройств, так называемое SCSI-устройство².

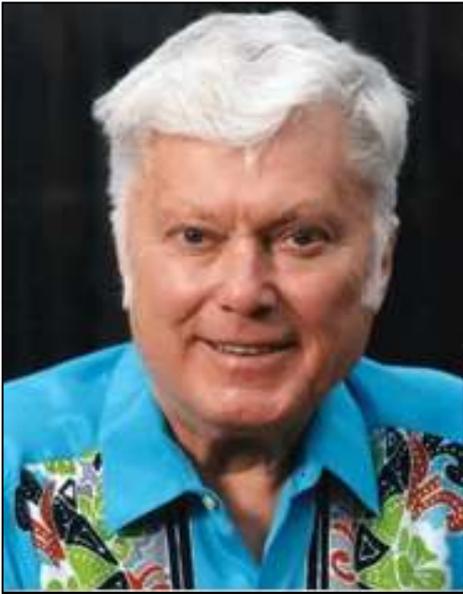
Создателем SCSI-устройства был американский инженер и бизнесмен Алан Ф. Шугарт (Alan Field Shugart: 1930–2006)³, ко-

IBM, однако после смерти Вана просуществовала лишь два года, обанкротившись в 1992 г. [119–121].

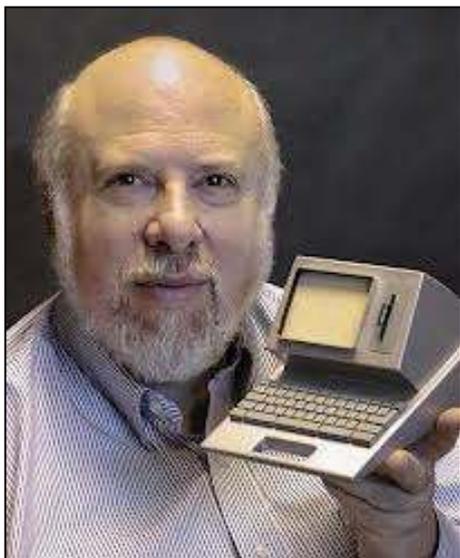
¹ Через год Р. Говард и П. Робинсон организуют собственную фирму Centronics Data Computer Corporation по производству принтеров в городе Hudson (штат Нью Хемпшир). Фирма просуществовала до 1987 г. [122].

² SCSI = Small Computer System Interface – набор стандартов для подключения и передачи данных между компьютерами и периферийными устройствами.

³ А. Шугарт родился в 1930 г. в Лос-Анджелесе. Степень бакалавра электротехники получил в Университете Редланс. Далее, до 1973 г., работал в фирме IBM. В 1973 г. А. Шугарт основал свою первую собственную фирму, позже приобретенную фирмой Xerox. В 1979 г. им (совместно с Финис Коннер (Fin-



Алан Шугарт



Джеф Раскин

торый изобрел это устройство в 1979 г., но публикация о нем появилась лишь два года спустя [123].

В 1996 г. это устройство сменила шина USB. Эта шина оказалась удобной для обычных пользователей, а не только для системных администраторов (как SCSI-устройства).

Первые спецификации для USB 1.0 появились еще в 1994–1995 гг. При этом сама разработка шины USB поддерживалась фирмами Microsoft, Intel, Philips, US Robotics. Шина USB вошла в стандартную поставку Windows 98. Фирма Apple постепенно тоже перешла на интерфейс USB. Здесь, пожалуй, уместно сказать несколько слов о человеке, в книге которого (2000) подведен итог развитию HCI за предыдущие 30 лет [87]¹.

Речь идет о Джефе Раскине (Jef Raskin: 1943–2005)².

is Conner)), была создана фирма Shugart Technology, вскоре переименованная в Seagate Technology. В 2005 г. А. Шугарт стал экспонентом Музея Истории Компьютеров [123].

¹ В России перевод книги Д. Раскина вышел в 2004 г.

² Д. Раскин родился в 1943 г. в Нью-Йорке, в еврейской семье. В 1964 и 1965 гг. получил степени бакалавра по математике и философии в городском университете Нью-Йорка. В 1967 г. он получает степень магистра компьютерных наук в Университете штата Пенсильвания. В качестве диссертационной работы им была написана компьютерная программа по музыке. С 1968 по 1974 г. преподает в Калифорнийском университете (Сан Диего) (UCSD) на кафедре визуального искусства. Получив грант на создание Центра (Computer and Humanities), он вместе со своим студентом-выпускником UCSD Джонатаном

Именно ему на рубеже 1978–1979 гг. принадлежит идея создания «компьютера для миллионов» пользователей, реализованная, начиная с 1979 г., в Macintosh-проекте.

Не случайно именно этот компьютер усилиями Стива Джобса используется с 80-х гг. в американских школах.

В нулевые и последующие годы XXI века взаимодействие человека и компьютера приобрело совершенно новые черты, поскольку с помощью мобильных телефонов, смартфонов, iPad, iPhone и т. д. в процесс взаимодействия HCI оказались вовлеченными сотни миллионов и даже миллиарды людей.



Символ USB



Логотип SCSI-устройства

Коллинсом (Jonathan Collins) развивает Flow Programming Language – язык для обучения студентов артистического и гуманитарного направлений. С 1978 г. Д. Раскин начинает сотрудничество с фирмой Apple. Благодаря своим юридическим и инженерным познаниям он оказывает большое влияние на все ранние проекты фирмы, и именно тогда выдвигает идею создания «компьютера для миллионов». В 1981 г. главный руководитель фирмы и один из ее основателей Стив Джобс (см. [2, с. 65]) решает воплотить идею Д. Раскина в жизнь, что, в итоге, приводит к огромному коммерческому успеху фирмы. В 1982 г. Д. Раскину становится «тесно» в Apple, и он для реализации своих идей, «выброшенных» при реализации проекта Macintosh, основывает фирму *Information Appliance, Inc.* К сожалению, идеи удобства для пользователя (или, как теперь говорят, «юзабилити») не сразу были по достоинству оценены рынком, и большого коммерческого успеха продукты фирмы Д. Раскина тогда не имели. После издания своей книги (2000) [87] Д. Раскин начинает разработку проекта The Human Environment – компьютерного интерфейса – согласно своим идеям в области HCI. (После смерти Д. Раскина (2005) этот проект (переименованный еще в 2005 г. в Archy) продолжил (до 2008 г.) его сын Аза Раскин (Aza Raskin: 1984)).

§ 27. Внутренний интерфейс

Как известно, **интерфейс** – это совокупность программных средств, обеспечивающих непосредственное общение между пользователем и аппаратной частью компьютера¹ [87].

В число наиболее употребительных устройств, предназначенных для общения пользователя с компьютером, кроме клавиатуры, входят:

а) видеотерминалы, голосовые модемы, в последние годы веб-камеры; при этом голосовые модемы и веб-камеры могут быть встроены в компьютер;

б) принтеры, сканеры, копиры, факсы (их обычно относят к внешнему интерфейсу).

В этом параграфе мы будем заниматься только устройствами, относящимися к типу *а*. Начнем с видеотерминалов. Типичный видеотерминал – это алфавитно-цифровой дисплей. Дисплей предназначен не только для восприятия системных переменных, но и для облегчения обработки данной информации.

Дисплеи различаются, во-первых, по типу выводимой информации, а во-вторых, по типу экрана. Существуют и другие классификации дисплеев.

Рассмотрим вначале классификацию дисплеев по типу экрана. Как говорилось уже во введении, первые дисплеи реализовывались на основе электронно-лучевой трубки (ЭЛТ), так называемые CRT-дисплеи.

¹ Напомним, что обычно устройства ввода/вывода делят на: а) устройства ввода/вывода графической информации (видео- и веб-камера, сканер, цифровой фотоаппарат, плата видеозахвата); б) устройства ввода/вывода звуковой информации (микрофон, цифровой диктофон); в) устройства ввода/вывода текстовой информации (клавиатура (плоская и выпуклая)); г) координатные устройства (мышь, трекбол, трекпойнт).

Напомним, что ЭЛТ была изобретена в 1897 г. будущим Нобелевским лауреатом Карлом Брауном (см. Введение к главе VII). Первое применение ЭЛТ для передачи изображения принадлежит Борису Львовичу Розингу¹, получившему российский патент в 1907 г., а позже патенты Германии и Великобритании. Впервые в мире, в мае 1911 г., им были получены изображения простейших фигур на сконструированном им же кинескопе.



Б. Л. Розинг

В 1964 г. американский инженер Дональд Битцер (Donald L. Bitzer: 1934–2009)² в лаборатории Иллинойского университета, будучи одним из главных разработчиков, завершил создание плазменного дисплея PLATO.

¹ Б. Л. Розинг (1869–1933) в 1887 г. окончил гимназию с золотой медалью и поступил на физико-математический факультет Санкт-Петербургского университета. По окончании учебы (1891) оставлен в Университете для «приготовления» к профессорскому званию. С 1892 г. преподавал в Технологическом Институте (ТИ), а с 1895 г. – в расположенном напротив ТИ Константиновском артиллерийском училище, где организовал на собственные сбережения исследовательскую лабораторию. Во время гражданской войны жил в Екатеринодаре (ныне Краснодар), где готовил свой основной труд «Электрическая телескопия (видение на расстоянии). Ближайшие задачи и достижения», изданную в Петрограде в 1923 г. В 1931 г. был арестован по «делу академиков» [124] и сослан в Котлас на 3 года. Через год переведен в Архангельск, где преподавал на кафедре физики Лесотехнического института. Умер в 1933 г. Реабилитирован только в 1957 г. [125]. Среди его учеников самый известный – Владимир Козьмич Зворыкин (Vladimir Zvorykin: 1888–1982) – один из пионеров телевидения, создатель электронного микроскопа, эмигрировавший в США в 1918 г. [126; 127].

² Д. Битцер учился в Университете штата Иллинойс, где получил в 1955, 1956 и 1960 гг. соответственно степени бакалавра, магистра и Ph. D. по электротехнике. Позже в течение многих лет деятельность Д. Битцера была связана с лабораторией CSL (Control Systems Laboratory) Иллинойского университета, где и были созданы разные версии PLATO [131].



В. К. Зворыкин

Идея плазменного дисплея основана на использовании заряженного газа между двумя стеклянными пластинками. Созданию этого дисплея предшествовали три публикации Д. Битцера [128–130], начиная с 1961 г.¹ Первые три версии дисплея PLATO финансировались совместно тремя родами войск США и предназначались для них. Четвертая версия (PLATO IV), завершенная к 1972 г., была уже коммерчески конкурентноспособна с ЭЛТ и получила распространение не

только у военных. Первоначально предполагалось лишь, что этот дисплей поможет при обучении, но оказалось, что его возможности намного шире.

В 60-е гг. появился еще один вид дисплеев – жидкокристаллические, т. е. плоские дисплеи на основе жидких кристаллов². Эти дисплеи используются для отображения графической или текстовой информации в компьютерных мониторах, ноутбуках, а также в других современных гаджетах. Разработаны жидкокристаллические дисплеи были в 1963 г. в Исследовательском Центре Дэвида Сарнова (David Sarnoff: 1891–1971)³ корпорации RCA (Radio Corporation of America).

¹ В двух из них соавтором выступал У. Лихтенбергер (W. Lichtenberger), а в трех – П. Браунфельд (Peter.G. Braunfeld: 1930), родившийся в Австрии и добравшийся в 1940 г. с родителями до США.

² Напомним, что жидкие кристаллы были открыты австрийским ботаником и химиком Фридрихом Райнитцером (Friedrich Richard Reinitzer: 1857–1927) [132, р. 17–20]. Сам термин «жидкие кристаллы» ввел в научный оборот в 1904 г. немецкий физик профессор Отто Леманн (Otto Lehmann: 1855–1922) [132, р. 20–27].

³ Давид (Дэвид) Абрамович Сарнов родился в бедной еврейской семье недалеко от Минска. В 1900 г. семья эмигрировала в США. В 1906 г. его отец Аб-

В 1972 г. был создан один из первых цветных терминалов IBM 3279. Первоначально он поддерживал 4 цвета (красный, зеленый, голубой и белый) и работал только в текстовом режиме. Позже появился терминал, способный работать и в графическом режиме, например IBM 3279G.

Для отображения данных на мониторе были разработаны специальные видеоадаптеры. Благодаря им были разгружены центральный процессор и ОЗУ, и тем самым ускорилось отображение данных на мониторе. Первый такой видеоадаптер был разработан в 1981 г. Он назывался Monochrome Display Adapter (MDA) и использовался в IBM PC (персональный компьютер). Одновременно появился и видеоадаптер CGA (Color Graphic Adapter).

В 1984 г. компанией Hercules Computer Technology был выпущен графический адаптер «Геркулес» HGC (Hercules Graphic Card).



Дональд Битцер



Дэвид Сарнов

рахам из-за туберкулеза стал нетрудоспособным, и заботы о семье, где помимо Дэвида было четверо детей, легли на его плечи. С этого времени более 60 лет Д. Сарнов связан с коммуникацией (телеграф, телефон, радио и телевидение). Встреча в 1928 г. с Владимиром Зворыкиным соединила талант ученого (В. Зворыкина) с талантом бизнесмена (Д. Сарнова) и привела к расцвету телевидения. Во время второй мировой войны «Голос свободной Европы», руководимый Д. Сарновым, стал важным инструментом воздействия и на Германию, и на союзников. В итоге Д. Сарнов получил звание бригадного генерала. Став в послевоенное время директором RCA, Д. Сарнов создает исследовательскую лабораторию, одним из многих продуктов которой и были жидкокристаллические дисплеи [133].

В том же 1984 г. появился адаптер EGA (Enhanced Graphic Adapter) на 16 цветов при разрешении 640×350 точек [134].

Наконец, в 1987 г. фирма IBM выпустила VGA (Video Graphical Array) монитор и использовала его в компьютере IBM PS/2 Model 50. В таком мониторе поддерживалось 16 цветов при разрешении 640×480 пикселей – и эти условия стали общепринятым стандартом.

В том же 1987 г. был выпущен монитор Macintosh с точной цветопередачей и весьма высокой резкостью изображения. (Первая еще не столь совершенная версия монитора Macintosh была выпущена в 1984 г.)

Отметим, что монитор VGA имел встроенный разъем, который с 1987 г. имел каждый стандарт видео.

Вернемся теперь к классификации мониторов по выводимой информации.

Графические мониторы для вывода текстовой и графической, в том числе видео, информации будут рассмотрены в следующей главе. (К этим мониторам относятся векторные и растровые мониторы.)

Что касается алфавитно-цифровых дисплеев (character display system), то их обычно подразделяют на:

- а) дисплеи, отображающие только алфавитно-цифровую информацию;
- б) дисплеи, отображающие псевдографические символы¹;
- в) интеллектуальные дисплеи, обладающие не только редакторскими возможностями, но и осуществляющими предварительную обработку данных.

¹ Напомним, что псевдографические символы – это совокупность символов, отображающих графические примитивы (линии, треугольники, прямоугольники, кресты, различная заливка), включенные в набор компьютерных шрифтов. Псевдографические символы помогают графическому оформлению программ с текстовым интерфейсом. Как правило, они заимствованы из встроенных шрифтов EGA, VGA и других дисплейных адаптеров.

Если говорить об интеллектуальных дисплеях, то в них основным является возможность создания, хранения и выполнения макросов. Напомним, что макросы – это программы, выполняемые модулем без участия центрального процессора системы. Они позволяют вывести на экран необходимые сообщения и взаимодействовать с периферийными устройствами.

Примерами интеллектуальных дисплеев могут служить, например, планшеты с сенсорными жидкокристаллическими экранами для компьютеров, работающих под управлением Windows XP (впервые эти дисплеи показаны в январе 2003 г. на выставке Consumer Electronics Show в Лас-Вегасе), или встроенные интеллектуальные индикаторные модули GU-600 и GU-3900 фирмы NORITAKE ITRON со светодиодным экраном. Фактически эти модули являются уже микрокомпьютерами.

Первоначально интеллектуальные дисплеи создавались для нужд вооруженных сил США. Поэтому они способны выдерживать весьма жесткие климатические условия и механические воздействия.

Заметим, что история появления интеллектуальных дисплеев в теоретическом плане восходит к появлению в 1977 г. языка AWK¹ – интерпретируемого скриптового C-подобного языка по-

¹ Название языка (AWK) образовано из первых латинских букв фамилий разработчиков: Ахо, Вайнбергер и Керниган (Alfred Vaino Aho: 1941; Peter Jay Weinberger: 1942; Brian Kernighan: 1942) [135]. Важнейшим из «потомков» языка AWK был язык PERL.

А. Ахо родился в 1941 г. в г. Тиммис (штат Онтарио, Канада) в семье финских эмигрантов. Степень бакалавра прикладной физики получил в Университете в Торонто, а Ph. D. по электротехнике и компьютерным наукам – в Принстонском университете. В 1967–1991 гг. работал в фирме AN & T в Bell Labs и вновь в этой же фирме в 1997–2003 гг., будучи вице-президентом ее Научно-исследовательского компьютерного центра.

П. Вайнбергер родился в 1942 г. Степень бакалавра получил в 1964 г. по окончании колледжа Swarthmore (штат Пенсильвания). В 1969 г. получил степень Ph. D. в Калифорнийском университете (Беркли) по математике (теория чисел). Некоторое время П. Вайнбергер продолжает заниматься теорией



Альфред Ахо



Питер Вайнбергер

строчного разбора и обработки входного потока информации (прежде всего текстового файла) по заданным шаблонам. При этом входной поток рассматривается как список записей, и каждая запись делится на поля. Добавим, что язык AWK процедурный и событийно-ориентированный.

Усилению интеллектуальной мощности дисплеев способствовало и создание американским программистом и математиком Питером Нортоном (Peter Norton: 1943) своих утилит (в их числе и знаменитая программа UNERASE, позволяющая восстановить случайно стертый файл). Впрочем, и книга П. Нортона [136] («Inside the IBM PC...») 1983 г., как и появившаяся небольшая программа Norton Commander, стали знаковыми для компьютерного мира той эпохи.

Коль скоро зашла речь об интеллектуальных дисплеях, следует сказать и об электронных переводчиках. Еще в 1966 г. появился язык РЕФАЛ (РЕкурсивных Функций АЛгоритмический).

чисел в Мичиганском Университете (Ann Arbor). Но потом резко меняет область исследований, перейдя в лабораторию Bell Labs фирмы AT & T. Там он встречается А. Ахо и Б. Кернигана, с которыми и создает язык AWK (биография Б. Кернигана и его фото – в книге [2, с. 62]).

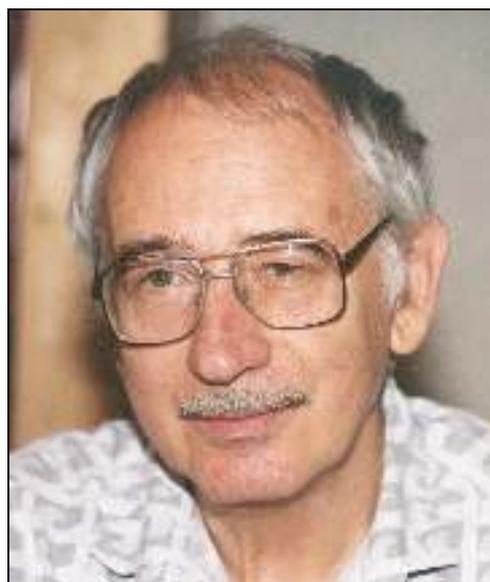
Этот язык был первоначально ориентирован на обработку символьных строк. Но оказалось, что он прекрасно приспособлен для перевода с одного языка на другой, причем неважно, будет ли один из языков естественным или искусственным. Более того, этот язык помогает решению проблем, связанных с искусственным интеллектом. Создателем этого языка был родившийся в 1931 г. в г. Подольске советский физик и кибернетик Валентин Федорович Турчин¹. В 1977 г. В. Ф. Турчин, будучи с 1974 г. председателем московского отделения правозащитной организации «Amnesty International», под давлением властей был вынужден покинуть СССР, и через Израиль осел в США. Уже в США им был предложен новый метод оптимизации программ – метод суперкомпиляции.

В последние годы появились и другие типы видеотерминалов, прежде всего на основе органических светодиодов.

Еще в начале 50-х гг. XX века французский физико-химик и фармаколог Андре Бернаноз (André Bernanose: 1912–2002)² от-



Питер Хортон



В. Ф. Турчин

¹ В. Ф. Турчин умер в Нью-Йорке в 2010 г. Дополнение к его биографии см. в [2, с. 5]. В России широко известна его книга «Феномен науки...» [137].

² А. Бернаноз родился в 1912 г. в Нанси (Франция). В 1934 г. окончил École Centrale des Arts et Manufactures de Paris, в 1937 г. – факультет науки в уни-

крыл электролюминесценцию в прозрачных тонких пленках органического красителя при подаче тока высокого напряжения. В 2000 г. физик А. Хигер (Alan Jay Heeger: 1936)¹ и двое химиков: А. Макдиармид (Alan Graham MacDiarmid: 1927–2007)² и Х. Сиракава (Hideki Shirakawa: 1936)³ получили Нобелевскую премию по химии за «открытие (в 1977 г.) и развитие проводящих (электропроводящих) органических полимеров» [138].

верситете Нанси. Там же защитил докторскую диссертацию по химии в 1948 г. и в начале 50-х гг. открыл явление электролюминесценции.

¹ А. Хигер родился в 1936 г. в небольшом городке Sioux City (штат Айова) в семье еврейских эмигрантов. Он получил степень бакалавра по математике и физике в 1957 г. в Университете штата Небраска, а степень Ph. D. – в 1961 г. по физике в Калифорнийском университете (Беркли). С 1962 по 1982 г. работал в Университете штата Пенсильвания, где и занимался изучением электролюминесценции легированного йодом ацетилена. Позже вернулся в Калифорнийский университет (Санта-Барбара).

² А. Макдиармид родился в 1927 г. в бедной многодетной семье в городке Мастертон в Новой Зеландии. В 1943 г. ему удается поступить в Университет столицы Новой Зеландии г. Веллингтон. В 1947 г. он получает там степень бакалавра (по химии), в 1951 г. – степень магистра. Отмеченный за свою научную работу стипендией Фулбрайта (Fulbright), получает возможность учиться в Университете штата Висконсин, где в 1952 г. получает степень магистра, в 1953 г. – степень Ph. D. по неорганической химии, а в 1955 г. – вторую степень Ph. D. по органической химии в Sidney Sussex College, Cambridge. С 1957 по 2002 г. преподает в Университете штата Пенсильвания (с 1964 г. – полный профессор). В 2007 г. переходит в Университет штата Техас (Даллас) [139].

³ Х. Сиракава (в США произносят Ширикава) родился в Токио в 1936 г. в семье военного врача. В 1961 г. он заканчивает учебу в Токийском Институте Технологий по прикладной химии. В том же институте в 1966 г. защищает докторскую диссертацию по прикладной (инженерной) химии и начинает работать в X Лаборатории химических средств. В 1975 г. эту лабораторию посещает Алан Макдиармид, и, заинтересовавшись результатами Х. Сиракавы по изучению электрической проводимости пленок ацетилена, приглашает на годичную стажировку в Университет Пенсильвании. В 1977 г. выходит совместная статья А. Хигера, А. Макдиармида и Х. Сиракава (где были еще два соавтора) [138], которая и послужила основанием присуждения им Нобелевской премии в 2000 г. В 1979 г. Х. Сиракава переходит на преподавательскую работу в Университет Цукуба, в городе, севернее Токио, созданном (по образцу Академгородка в Новосибирске) в 60-х гг.

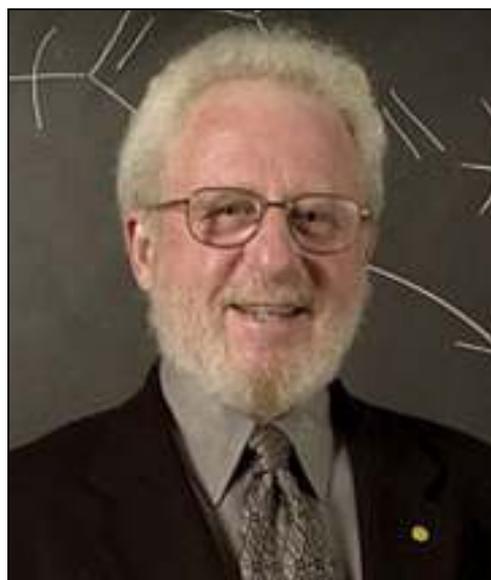
Первое практическое применение открытого явления было получено в компании Eastman Kodak в начале 80-х гг., когда в этой компании было создано диодное устройство, которое можно было использовать в экранах дисплеев. (Компании, основанной еще в 1881 г., это, правда, не помогло – в январе 2012 г. она объявила о банкротстве.)

В настоящее время разработки и исследования OLED-технологий идут широким фронтом. Перечислим только некоторые технологии, на основе которых уже созданы дисплеи: PHOLED (Phosphorescent OLED), TOLED (Transparent and Top-emitting OLED), FOLED (Flexible OLED), SOLED (Staked OLED).

Явление электролюминесценции неорганических веществ (light-emitting diode, сокращенно LED-технология) было открыто намного раньше, чем электролюминесценции органических веществ, но практическое применение в создании экранов дисплеев нашло сравнительно недавно. Напомним, что впервые об этом явлении написал Генри Раунд (Henry Joseph Round: 1881–1961), ассистент Г. Маркони, в работе 1907 г. [140]. Г. Раунд сообщал в ней только, что видел «свечение в контакте карборундового детектора при подаче на него внешнего поля».



Андре Бернаноз



Алан Хигер



О. В. Лосев

Через 20 лет, в 1927 г. в журнале «Телеграфия и телефония без проводов» (т. 44, с. 485–494), были опубликованы результаты серьезных научных исследований 24-летнего ученого Олега Владимировича Лосева (1903–1942)¹, выполненные им еще в 1923 г. в Нижегородской радиолaborатории под руководством профессора В. К. Лебединского².

¹ О. В. Лосев родился в 1903 г. в Твери в семье отставного штабс-капитана, дворянина. В 1920 г. окончил Тверское реальное училище и поступил на работу в Нижегородскую радиолaborаторию, познакомившись с ее руководителем М. В. Бонч-Бруевичем (1888–1940) еще в Твери в 1916 г. О. В. Лосев работал в ней до ее закрытия в 1928 г. С 1929 по 1933 г. по приглашению академика А. Ф. Иоффе он проводил исследования в Ленинградском физико-техническом институте. С 1937 г. до самой смерти (от голода) в январе 1942 г. в блокадном Ленинграде преподавал и вел исследования на кафедре физики Первого Ленинградского медицинского института им. И. П. Павлова. В 1938 г. ему была присвоена степень кандидата физ.-мат. наук (без защиты диссертации) [141].

² Лебединский Владимир Константинович (1868–1937) родился в Петрозаводске в семье учителя истории классической гимназии. Школьные годы провел в столице. По окончании (с серебряной медалью) Второй городской гимназии Петербурга в 1887 г. поступил в Санкт-Петербургский университет на математическое отделение физико-математического факультета. Закончив в 1891 г. университет с дипломом первой степени, преподавал в Череповецком реальном училище, Петербургской гимназии, Петербургском Политехническом институте и Николаевском военно-инженерном училище, занимаясь при этом и наукой – изучал свойства электрической искры и разрабатывал теорию высокочастотных трансформаторов. В 1913–1915 гг. был профессором Рижского Политехнического института. В 1919–1925 гг. участвовал в организации и работе Нижегородской Радиолaborатории. С 1925 г. В. К. Лебединский заведует кафедрой физики Ленинградского Первого медицинского института, а с 1930 г. – кафедрой физики Ленинградского института железнодорожного транспорта, занимаясь уже, главным образом, рецензированием и редактированием научных книг и журналов [142].

О. В. Лосев открыл как явление предпробойной электролюминесценции (свечение I) карбида кремния, применяемое ныне при создании электролюминесцентных дисплеев, так и инжекционную электролюминесценцию (свечение II), лежащую в основе светодиодов и полупроводниковых лазеров [141].

В сущности, LED-технология позволяет получить световое излучение в месте соприкосновения катода с полупроводником, соединенным с анодом. Практической реализации LED-технологии мы обязаны Нику Холоньяку (Nick Holonyak, Jr.: 1928)¹ из Иллинойского университета, который еще в 1962 г., будучи научным консультантом лаборатории компании General Electric Co. (в г. Сиракузы, штат Нью-Йорк), построил первый светодиод, излучающий в видимом диапазоне [143].

Дисплеи, построенные с примене-

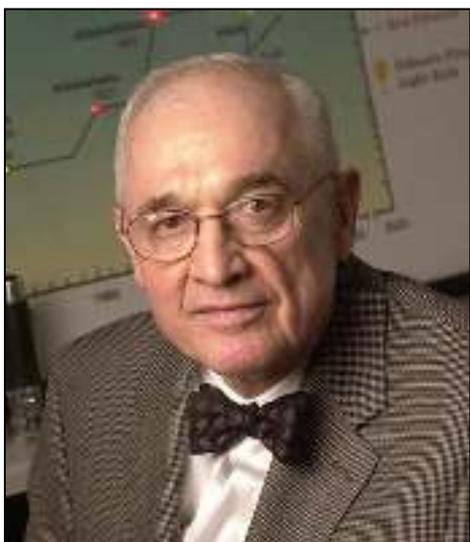


Алан Макдиармид



Хидеки Сиракава

¹ Н. Холоньяк родился в 1928 г. в городке Zeigler (штат Иллинойс) в семье эмигрантов из Российской империи (с территории современной Украины). Учился в Университете штата Иллинойс (Urbana-Champaign), где в 1950, 1951 и 1954 гг. получил соответственно степени бакалавра, магистра и Ph. D. по электротехнике. С 1963 г. Н. Холоньяк – профессор Иллинойского Университета. Он также член Национальной и Национальной инженерной академий наук США. Среди многих наград, полученных им, отметим медаль Почета общества IEEE (2003). В том же году он стал первым лауреатом Международной энергетической премии «Глобальная энергия» [144].



Ник Холоньяк

нием LED-технологий, выдерживают вибрацию, несильные удары, перепады давления, низкие температуры [145].

Не случайно первые потребители этих дисплеев были в Вооруженных силах США. Однако плохая переносимость высоких температур ограничивает пока их применение в странах с жарким климатом.

Еще в 80-е гг. началось интенсивное проектирование оснащения американского солдата будущего. Так, в частности, для командира американского автоматического гранатомета с ленточным питанием МК.47 Striker 40 на шлеме закрепляется ретинальный¹ монитор, который получает изображение от бортового компьютера, что резко улучшает возможность слежения за обстановкой поля боя и получение тактической информации. Особенностью этого монитора является формирование изображения непосредственно на сетчатке глаза. При этом изображение «висит» в воздухе перед глазом. Такой монитор носит название Виртуального ретинального монитора (Virtual retinal display (VRD)).

Первые образцы VRD были созданы в 1991 г. в Университете штата Вашингтон в Сиэтле [146]. Изобретателем VRD (1986) является сотрудник корпорации Nippon Electric Company Казуо Ёшинака (Kazuо Yoshinaka), позже перешедший на работу в лабораторию (Human Interface Technology Lab) Университета штата Вашингтон [147].

Кроме использования VRD военными, началось широкое использование VRD в медицине, прежде всего хирургами при хирургических операциях.

¹ Retinal = относящийся к сетчатке глаза (англ.).

Отметим, что и OLED-дисплеям на смену приходят дисплеи TMOS (Time-Multiplexed Optical Shutter), основанные на технологии, использующей инерционность сетчатки человеческого глаза [148].

Наконец, в последнее время появились лазерные люминофорные дисплеи (Laser Phosphor Display) на основе лазерной панели¹. В них люминофор возбуждается веерными вертикальными пучками света от синих полупроводниковых лазеров.

Перейдем теперь к голосовым модемам². Напомним, что модем – это устройство, использующееся в системах связи для физического сопряжения информационного сигнала со средой его распространения. Модемы появились впервые в 50-х гг. в США в выделенной телефонной сети ПВО США на концах каждой линии связи.

Голосовые модемы первоначально были аналоговыми телефонными модемами, у которых звуковая информация внедрялась в поток данных (в аналоговом виде) на этапе модуляции (Analog Simultaneous Voice and Data (AVSD))³.

Позже появился цифровой способ голосовой передачи, при котором звук внедряется в цифровой поток. Звук при этом может оцифровываться как с микрофона на входе, подаваясь на наушники или без них с выхода, так и напрямую передавая звук с компьютера (или **на** компьютер) (Digital Simultaneous Voice and Data (DSVD))⁴ [149]).

Что касается веб-камеры, то она была создана на рубеже 1991/92 гг. в компьютерной лаборатории Кембриджского университета. Первоначально веб-камера состояла из устройства видео-

¹ Эти дисплеи представила в 2011 г. компания PRYSM из Сан-Хосе (Калифорния).

² Слово *модем* образовано из слов: **м**одулятор и **д**емодулятор.

³ AVSD = Аналоговая одновременная передача голоса и данных.

⁴ DSVD = Цифровая одновременная передача голоса и данных.



Л. С. Термен

наблюдения (frame grabber) с подключенной камерой, направленной на объект наблюдения, и специально написанного программного обеспечения для этого компьютера¹. Об этом факте опубликовал заметку в Common-Week (27 января 1992 г.) Роберт Меткальф (Robert Melancton «Bob» Metcalf: 1946). В 1993 г. Д. Гордон (Daniel Gordon) и М. Джонсон (Martin Johnson) подсоединили веб-камеру к Интернету (подробнее см. [150]).

Во введении к этой главе мы уже говорили о сенсорных перчатках Донецких студентов, превращающих жесты рук в голос (или текст) [97].

В этой связи стоит сказать, что впервые перевод движения рук не просто в голос, а даже в музыку, был получен российским изобретателем Львом Сергеевичем Терменом (1896–1993)² в 1920 г.

¹ Чтобы узнать, можно ли воспользоваться машиной для приготовления кофе, находившейся в соседнем здании, не бегая туда, проще оказалось написать программу для уже имеющейся видеоаппаратуры. В этом участвовали трое: Боб Меткальф, Пол Ярдецки (Paul Jardetzki) и, сыгравший основную роль, Квентин Стаффорд-Фразер (Quentin Stafford-Fraser).

² Л. С. Термен окончил в 1916 г. Петербургскую консерваторию по классу виолончели, одновременно обучаясь на физическом и астрономическом фа-

Он изобрел электромузыкальный инструмент «Терменвокс». Во время исполнения, по крайней мере, одна из рук исполнителя не дотрагивается до инструмента [151].

§ 28. Внешний интерфейс

Этот параграф посвящен в основном истории копирования материалов¹, получаемых в результате использования компьютера. При этом мы ограничимся историей создания: а) принтеров, б) сканеров, в) факсов, опуская историю создания цифровых фотоаппаратов, электронных книг, а также других гаджетов, которые можно, в той или иной мере, тоже отнести к внешнему интерфейсу.

Начнем с истории создания принтеров. Традиционно, первым принтером с использованием компьютера считается Принтер Чарльза Бэббиджа (Charles Babbage: 1791–1871), который он предполагал установить как в Analytical Engine, так и в New Dif-

культетах Петербургского университета. С 1928 по 1938 г. жил в США, где стал широко известен как шоумен (концерты по всей стране) и предприниматель (системами охранной сигнализации его конструкции оснащают даже тюрьмы). По возвращении в СССР был арестован и сослан в Магадан. Позже работал в «шарашке» А. Н. Туполева (1888–1972), где вместе с С. П. Королевым (1907–1966) создавал прототипы крылатых ракет. (При этом С. П. Королев был ассистентом у Л. С. Термена!). За разработку подслушивающих устройств получил в 1947 г. Сталинскую премию 1-й степени, но после 1967 г., когда в США узнали, что Л. Термен не был расстрелян в 1938 г., и об этом написали американские газеты, в СССР ему было разрешено работать только рабочим (физического факультета МГУ) [152].

¹ История копирования письменных материалов насчитывает не одно тысячелетие. Достаточно вспомнить писцов Древнего Египта [153] или переписчиков Первого императора объединенного Китая Цинь Шихуанди (Ин Чжень) (259–210 гг. до н. э.), издавшего ради стандартизации написания китайских иероглифов (в 213 г. до н. э.) закон, предписывающий всем, у кого есть книги, уничтожить их в течение одного месяца, за исключением разрешенных, написанных по стандарту иероглифами: по медицине, сельскому хозяйству и гаданию, а также книг из императорского собрания и хроник циньских правителей [14, с. 82].



*Принтер фирмы
Remington Rand для
компьютера «UNIVAC 1»*

ference Engine (№ 2), строительство которой было начато в 1847–1849 гг., а завершено лишь 150 лет спустя (см. [1, с. 21, сноска]).

Принтеры, создававшиеся для первых электронных вычислительных машин XX века, не сильно отличались от пишущих машин с электроприводом. Не случайно, лучший принтер UNIPRINTER, созданный в 1953 г. (для компьютера «UNIVAC 1»), был изготовлен фирмой Remington Rand, специализировавшейся до того времени на изготовлении, главным образом, пишущих машинок (см., например, [154]). Мы вернемся к этой теме после обсуждения лазерных принтеров. Заметим только, что UNIPRINTER не мог воспроизводить графической информации даже простых графиков функций.

Далее, мы выделим из всех принтеров для компьютеров только три класса: матричные, струйные и лазерные, не останавливаясь на **термопринтерах, сублимационных принтерах, интернет-принтерах** и других.

Начнем с матричных принтеров. В 1964 г. в японской фирме Seiko Epson Corporation¹ был создан первый в мире **матричный принтер** (коммерческая версия ER-101), в котором изображение

¹ Фирма берет свое начало от фирмы, занимавшейся первоначально продажей часов и основанной в 1881 г. Кинтаро Хаттори (Kintaro Hattori: 1860–1932). В 1964 г. фирма, будучи подразделением концерна Seiko Group – официального контролера времени для Олимпийских игр в Токио, изготавливает специальный хронометр со встроенным (матричным) принтером. В 1982 г. фирма выпускает первый в мире портативный компьютер HX-20 – прототип ноутбуков. Начиная с 1975 г., принтеры и другие устройства, изготовленные в рамках концерна Seiko Group, продаются под маркой Epson.

получалось из точек на бумаге, нанесенных иглами через черную или цветную ленту [155].

Формально¹ первый **струйный принтер** для компьютеров был создан фирмой Siemens в 1977 г. Как и в матричных принтерах, изображение на носителе формировалось из точек, но вместо головок с иглами для их получения использовалась головка, распыляющая жидкие красители под давлением.

В принтере фирмы Siemens в качестве такой головки служил пьезоэлектрический механизм [155]. Через год с небольшим фирма Canon заменила пьезоэлектрический механизм на термический².

В последующем оба способа распыления красителей стали использоваться в струйных принтерах. Более того, в 1994 г. фирма Hewlett Packard (HP) создала модель струйного принтера Tinkjet³, использующего технологию пузырьково-струйной термопечати [155].

Вернемся в 1971 год. В том году фирмой Xerox был создан первый **лазерный принтер** для сети Ethernet (EARS). Но первые образцы этого принтера оказались столь дорогими, что их могли себе позволить закупать лишь Вооруженные силы США. Их серийное производство началось во второй половине 70-х. Но даже появление в 1975 г. лазерного принтера фирмы IBM не снизило

¹ Фактически первый струйный принтер был построен шведской фирмой Siemens Elena еще в 1948 г. для регистрации результатов измерений.

² Любопытно, что использование тепла привело к появлению (1988) целого нового класса принтеров – **термопринтеров**, у которых, как и у матричных принтеров, есть иглы, но это «термоиглы», воздействующие на термочувствительную бумагу. Этот класс принтеров широкого применения не получил, хотя первый экземпляр был построен известной фирмой IBM (модель IBM Quiet Writer 1988 г.). В СССР был построен в 1989 г. аналогичный принтер модели «Электроника МС 6312» – клон появившегося на западном рынке принтера Kodak Diconix-150.

³ = Разбрызгиватель чернил.

существенно цены этих принтеров¹. В соотношении цена/качество они проигрывали матричным принтерам. Только в 1984–1985 гг. появление лазерных принтеров Laser Jet фирмы HP и Laser Writer фирмы Apple Computer, ставших домашними принтерами, изменила эту ситуацию.

В основе технологии как лазерных принтеров, так и приборов, названных ксероксами, лежит открытие в 1938 г. американским физиком Честером Карлсоном (Chester Floyd Carlson: 1906–1968)²

¹ Например, принтер Xerox 9700 стоил в 1976 г. 350000 долларов. Существенным преимуществом лазерных принтеров по сравнению с матричными и струйными принтерами была бесшумность и скорость печатания.

² Ч. Карлсон родился в бедной семье в 1906 г. С 12 лет ему пришлось работать и учиться, поддерживая семью, так как родители из-за туберкулеза постепенно стали беспомощными инвалидами. Мать умерла, когда Честеру было 17 лет. По совету своего дяди по окончании средней школы Честер поступил в Riverside Junior College, где можно было совмещать работу и учебу. Более того, Честеру удалось завершить учебу вместо 4 лет за три года. Далее, он перебрался в Пасадену, где поступил в 1928 г. в Калифорнийский Технологический Институт (CalTech), взяв кредит на учебу. По окончании учебы в 1930 г., а это был разгар Великой депрессии, перед Ч. Карлсоном встала проблема поиска работы. В 1931 г. он нашел место инженера-исследователя в Bell Telephone Laboratories в Нью-Йорке. В 1932 г. у Ч. Карлсона умирает отец, а еще через год, в связи с кризисом, его увольняют. Через 6 недель Ч. Карлсон находит работу в патентном бюро и через год погашает задолженность за учебный кредит. Для успеха в работе Ч. Карлсону требовалось чтение огромного числа юридической литературы. Не имея возможности купить ее всю, он копирует вручную сотни страниц. К 1938 г., чтобы облегчить себе работу, он изобретает «фотокопир», основанный на открытии явления, названного им **электрографией** (Electron Photography) [156], при этом изображение получалось на цинковой пластине, покрытой слоем серы. Для воплощения идей Ч. Карлсона в действующую модель ему нужен был помощник. Таким оказался бежавший из захваченной нацистами Австрии физик и инженер Отто Корней (Otto Kornei:1903–1993) [156]. В 1939 г. появились реально действующие первые (но не промышленные!) копировальные аппараты, прототипы как ксероксов, так и лазерных принтеров. Фирма Haloid Co., инвестировавшая в течение более 10 лет в создание промышленных копировальных аппаратов на базе результатов Ч. Карлсона и О. Корнеи, добилась успеха и была переименована в 1958 г. в Haloid Xerox, а в 1961 г. – в ставшую всемирно известной фирму Xerox Co. В 1959 г. появились первые автоматические копировальные автоматы «Xerox 914». Умер Ч. Карлсон от инфаркта в 1968 г. [157].

принципа **электрографии** или фотографии без процесса проявления¹.

Чуть позже мы вернемся к ксероксам, а пока отметим, что в СССР основными печатными устройствами для компьютеров почти до конца 70-х гг. оставались так называемые алфавитно-цифровые печатающие устройства (АЦПУ) [161].

АЦПУ, использовавшиеся в СССР, фактически воспроизводили UNIPRINTER. Главной частью этого принтера был вращающийся барабан, состоявший из колец, на поверхности которых были рельефные буквы и цифры. Количество колец с алфавитом равнялось максимальному количеству символов в строке. За барабаном располагалась линейка молоточков, приводимых в действие электромагнитами. Широкая лента бумаги проходила между линейкой и барабаном, при этом в момент прохождения нужного символа на вращающемся барабане молоточек ударял по бумаге, прижимая ее (через красящую ленту) к барабану. За один оборот барабана печаталась одна строка на бумажном рулоне.

Не случайно АЦПУ называются барабанными принтерами (англ. *drum printer*). В СССР строительство первого АЦПУ на-

¹ Эту технологию называют сухой фотографией, а поскольку по-гречески «сухой» = xeros, то вместо термина «электрография» стал использоваться термин «ксерокопирование». Идея электрографии заключается в использовании фотобарабана: по поверхности фотобарабана равномерно распределяется статический заряд, который снимается в нужных местах либо светодиодным лазером, либо светодиодной линейкой, и, в итоге, на поверхности фотобарабана появляется скрытое изображение. Далее на фотобарабан наносится тонер, после чего фотобарабан прокатывается по бумаге, при этом тонер переносится на бумагу. Бумага проходит через блок термозакрепления для фиксации тонера, а фотобарабан очищается от остатков тонера и разряжается в узле очистки [158–160]. Любопытно, что в России еще в октябре 1916 г. была подана заявка на изобретение «Электрофотографического аппарата» для копирования Ефимом Евграфовичем Гориным (1881–1951), использовавшим свойства полупроводников для воспроизводства изображения. Позже уже в советское время им был изобретен (1926–1928) способ размножения текстов и иллюстраций для слепых [160].



Е. Е. Горин



Честер Карлсон

чалось в 1959 г. для семейства «Уралов», создававшихся в Пензе под руководством Генерального конструктора Б. И. Рамеева (см. [1, с. 64–65]). Надежность и скорость АЦПУ, созданных в Пензе, уже ничем не уступали принтерам барабанного типа, производимым на Западе¹ [163].

Что касается электрографии и создания на ее основе собственных копируемых аппаратов, в том числе и для внешнего интерфейса, то в СССР, после периода НЭПа, работы возобновились только с 1949 г. – вначале в Научно-исследовательском кинофотоинституте (образован в 1929 г. в Москве), затем с 1956 г. – в «НИИ Полиграфмаш» (Москва), а с 1957 г. – и в «НИИ электрографии» (Вильнюс), совместно с ПО «Оргтехника», заводом «Сухумприбор» и Казанским оптико-механическим заводом. Все созданные копируемые аппараты (например, «ЭРА», «РЭМ-600») использовались только в учреждениях.

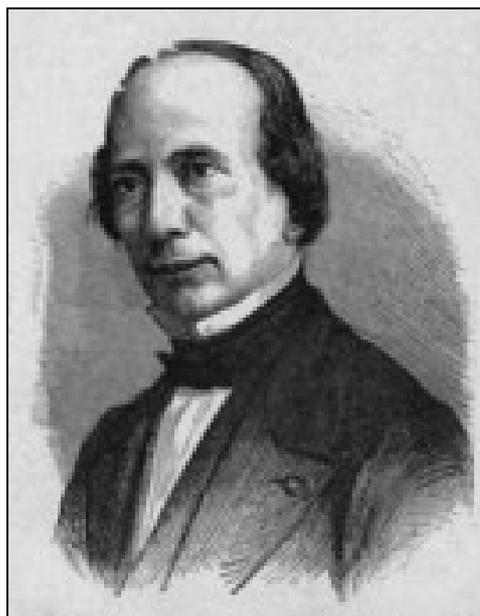
Говоря о других копируемых устройствах внешнего интерфейса, за-

¹ Например, у «Сетуни», первой в мире ЭВМ с троичной симметричной системой представления чисел (создана в 1959 г. под руководством Николая Петровича Брусенцова (р. 1925)), печать осуществлялась на бумажную перфоленту еще со скоростью 100 зн./сек. [162, с. 52–53], а в АЦПУ-128-2 – уже 1000 зн./сек.

метим, что в основе применения и сканеров¹, и факсов, и цифровых фотокамер лежит открытая в 1855 г. итальянским физиком Джованни Казелли (Giovanni Caselli: 1815–1891)² идея сканирования с помощью иглы изображения, нарисованного токопроводящими чернилами [164].

Дальнейшим развитием идеи сканирования мы обязаны физика и математику Артуру Корну (Arthur Korn: 1870–1945)³ – изобретателю фототелеграфа (1904–1906).

Идея фототелеграфа основана на использовании фотоэлемента: при перемещении узкого луча света по поверхности, закрепленной на барабане фотографии, этот луч, отражаясь от светлых



Джованни Казелли

¹ В данном параграфе речь идет только о сканерах изображений, поскольку существуют сканеры механических напряжений и других внутренних деформаций, например сканер механических напряжений «STRESSVISION».

² Д. Казелли родился в Сиене в 1815 г. Первоначально он изучал историю, литературу и теологию. Кроме того, изучал физику под руководством Л. Нобили (Leopoldo Nobili: 1784–1835). Особый интерес проявлял к электрохимии и электромагнетизму. В 1836 г. его возводят в духовный сан. В 1849 г. он получает должность профессора физики в университете Флоренции. К 1855 г. относится изобретение им «пантелеграфа», которое он патентует в 1861 г. в Европе и в 1863 г. – в США. За это изобретение становится во Франции кавалером Почетного Легиона [165].

³ А. Корн родился в еврейской семье в Бреслау (ныне Вроцлав) в 1870 г. Учился в гимназиях Бреслау и Берлина. Затем изучал математику и физику в университетах Лейпцига, Берлина, Парижа, Лондона и Вюрцбурга. В 1895 г. он получил право читать лекции в Университете Мюнхена, а в 1903 г. там же стал профессором. В 1904 г. провел демонстрацию первой фотоэлектрической факс-системы. В 1914 г. становится во главе кафедры физики в Технологическом Институте Берлина. В 1935 г. нацисты лишили его права преподавать. Тогда А. Корн вместе со своей семьей бежал из Германии через Мексику в США. С 1939 г. он заведовал кафедрой физики и математики в Технологическом Институте Стивенса штата Нью-Джерси [165; 166].



Артур Корн

мест фотографии, попадал на катод селенового фотоэлемента, вызывая ток эмиссии, пропорциональный количеству падающего света.

Технология, предложенная А. Корном, применяется в барабанных сканерах. Около 40 лет тому назад появились планшетные сканеры, т. е. сканеры, представляющие по форме планшет, внутри которого расположен механизм сканирования, а также проекционные, рулонные и ручные сканеры.

В планшетных сканерах вместо одного светочувствительного элемента имеется целая матрица таких элементов, что обеспечивает высокое качество и сравнительно высокую скорость сканирования. Планшетные сканеры существенно дешевле барабанных, но в барабанных сканерах можно получить самое высокое качество изображения.

В зависимости от толщины планшетного сканера в них возможно сканирование и рельефной поверхности¹. Добавим также, что в бытовых сканерах в последнее двадцатилетие содержатся собственные микропроцессоры.

В заключение этого параграфа – несколько слов о факсах². Напомним, что прообразом современного факса является *панте-*

¹ Планшетные сканеры выпускаются, как правило, теми же фирмами, которые производят и принтеры. В России выпускаются и собственные сканеры, по качеству сканирования не уступающие западным аналогам, но при этом обеспечивающие нормальную работу при пониженных температурах, тряске и запыленности. В качестве примера сошлюсь на планшетный сканер СК-2, производимый в ОАО «Ленполиграфмаш».

² Факс (от лат. *fac simile* – делать одинаково) – аппарат факсимильной связи для реализации технологии передачи изображений электрическими сигналами на расстоянии. Состоит из передатчика, линии связи и приемника. Исторически в качестве линий связи использовались телефонные линии, хотя сам

леграф Джованни Казелли, изобретенный им еще в 1856 г. [165], а современная факсимильная связь включает в себя операции развертки и модуляции (в передатчике), каналы связи с жесткой полосой пропускания (как правило, телефонные коммутируемые линии), демодуляцию, свёртку, запись изображения или информации (в принимающей аппаратуре).

Факс-аппарат включает в себя сканер, принтер, модем (модулятор/демодулятор) и телефонную трубку (см., например, [167, с. 98, 100]).

Развитие интернет-технологий и появление электронной подписи привело к резкому сужению области применения факсов.

Впрочем, развитие IT-технологий ведет и к серьезному переосмыслению значения привычных нам не только вещей, но и целых институций. Например, изобретение в 1984 г. инженером компании Toshiba Фуджио Масуокой (Fujiо Masuoka: 1943) флеш-памяти привело не только к скачку в обмене информацией и появлению новых гаджетов, но и изменению формы деятельности обычных библиотек.



Фуджио Масуока

А. Корн еще в 1922 г. демонстрировал возможность использования беспроводных линий для передачи изображения и радиосвязи. Совместная работа с радиоинженером др. Е. Неспером (Eugen Nesper: 1879–1961) была опубликована в 1926 г. [168].

Упражнения

1. Дайте периодизацию развития HCI «по Шэжелю».
2. Охарактеризуйте два типа подключения к компьютеру периферийных устройств. Кто разработал первый параллельный интерфейс?
3. Дайте характеристику SCSI-устройства и его предшественника.
4. Какое применение ЭЛТ (и когда) впервые предложил Борис Львович Розинг?
5. На чем основана идея плазменного дисплея? Где и когда впервые были разработаны жидкокристаллические дисплеи?
6. В чем заключается особенность интеллектуальных дисплеев?
7. Какова основная особенность LED-технологии?
8. Дайте характеристику первых матричных и струйных принтеров. Когда эти принтеры появились?
9. В чем смысл принципа электрографии? Кто его создатель?
10. В чем смысл открытия Джованни Казелли?

Глава IX. Компьютерная графика

Эта глава, в отличие от всех остальных, не содержит параграфов.

В ней будет представлено четыре основных направления развития компьютерной графики:

- история **системы CAD/CAM**;
- история **компьютерной анимации**;
- история **интерактивных графических игр**;
- история появления **языка PostScript**.

В первых трех направлениях мы сравнительно подробно рассмотрим развитие до 1980 г., делая лишь экскурсы в более позднее время, а в последнем – до середины 80-х гг.

При этом мы не будем заниматься историей программных средств, включая графические редакторы, драйверы графических устройств, средства просмотра изображений, архиваторы изображений, средства тестирования и настройки аппаратных устройств, подключаемые модули (плагины).

Начнем с определения. **Компьютерная графика** – «это автоматизированные информационные процессы, связанные с различными аспектами работы с изображениями, представленными в цифровом виде в соответствии с той или иной информационной моделью» [169]. С фактической точки зрения, можно считать, что компьютерная графика как научно-прикладная дисциплина существует с 1968 г., когда в университете города Штуттгарта (ФРГ) под руководством профессора Макса Бенса (Max Bense: 1910–1990)¹ была защищена первая в мире докторская диссертация по

¹ М. Бенс (в Германии произносится Бензе) родился в Страсбурге в 1910 г. В 1918 г. его семья, как и многие немецкие семьи, была вынуждена покинуть



Макс Бенс

компьютерной графике «Generative Computer-Grafik» Георгом Нисом (Georg Nees: 1926)¹ (Г. Нис был первым из «3N» – трех пионеров компьютерной графики. Двумя другими были Ф. Наке (Frieder Nake: 1938) и А. Майкл Нолл (A. Michael Noll: 1939)).

Напомним (см. с. 277), что с формальной точки зрения компьютерную графику уже назвал наукой А. Сазерленд в 1963 г. в своей диссертации.

Вернемся сейчас в середину 40-х гг. Именно тогда лаборатория сервомеханизмов МПТа получила заказ на создание анализатора ста-

Страсбург, поскольку, по результатам I Мировой войны, Эльзас и Лотарингия возвращались Франции. Он окончил гимназию в Кёльне и с 1930 г. учился в Боннском университете, изучая физику, химию, математику и философию. В 1937 г. под руководством Оскара Беккера (Oskar Becker: 1889–1964) защитил докторскую диссертацию «Quantenmechanik und Daseinsrelativität» на стыке квантовой механики и философии. Во время II Мировой войны был призван в армию и служил вначале солдатом на метеостанции, а затем – медицинским техником в Берлине и Георгентале. На рубеже 1945–46 гг. защитил хабилитацию в университете г. Иена и стал там экстраординарным профессором. В 1948 г. М. Бенс покидает советскую зону оккупации и с 1949 г. преподает в Высшей Технической школе Штуттгарта (в 1967 г. преобразована в университет). М. Бенс одним из первых применяет возможности компьютера к изучению поэзии (1953), речи, философии, искусства [170; 171].

¹ Мы намеренно даем имя Георг, а не Джордж, поскольку Г. Нис родился в 1926 г. в Нюрнберге и является немецким ученым. Компьютерным программированием занимается с 1959 г. С 1965 г. он начал работать в фирме Siemens в Эрлангене, первоначально программируя на Алголе генератор случайных чисел для «Графомата» (Graphomat Z-64), тогда еще примитивного плоттера, изобретенного Конрадом Цузе (Konrad Zuse: 1910–1995). В 1968 г. им было создано художественное произведение «Скульптура» – первая в мире скульптура, генерированная компьютером. В том же году он получает степень Ph. D. за диссертацию «Generative Computer-Graphik» [173]. В 1977 г. – звание почетного профессора Университета в Эрлангене. В 2010 г. выходит его книга, подытожившая многолетние размышления о компьютерной графике [174].

бильности самолетов ВМС США, а также создание тренажера для этих самолетов. Этот заказ руководитель лаборатории профессор Гордон Браун (Gordon Stanley Braun: 1907–1996) поручил выполнить группе сотрудников, возглавляемой Джейм Форрестером (Jay Wright Forrester: 1918)¹. В качестве оборудования предполагалось создание пилотской кабины и компьютера. Однако последнее оказалось столь непросто, что оно (в 1945 г.) было выделено в отдельный проект под названием «Whirlwind» («Вихрь»).

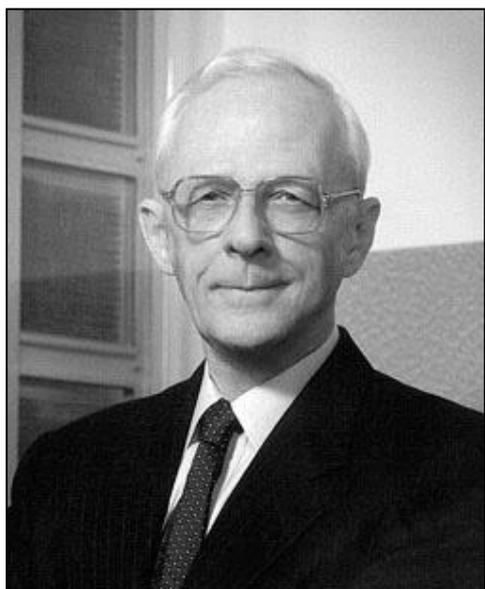


Георг Нис

К началу 50-х гг. компьютер Whirlwind наконец был построен, но уже к этому времени основным заказчиком стали ВВС США, и компьютер предназначался для обработки результатов системы противовоздушной обороны [171*; 172]. Группа сотрудников, возглавлявшаяся Д. Форрестером, образовала ядро новой лаборатории, созданной в 1951 г. и позже получившей название Lincoln Laboratory.

Именно тогда, по просьбе заказчика – ВВС США, вывод информации вычислительными машинами, обслуживавшими сеть

¹ Д. Форрестер родился в 1918 г. в штате Небраска. В 1936 г. после окончания средней школы поступил в Инженерный колледж Университета штата Небраска по специальности «Электротехника». По окончании учебы в 1939 г. был принят в МИТ ассистентом. Во время II Мировой войны работает под руководством Г. Брауна в лаборатории сервомеханизмов над военными заказами, в частности над системами контроля радаров. После 1951 г. Д. Форрестер возглавил в МИТе лабораторию цифровых компьютеров, основной задачей которой являлось создание компьютерного обеспечения NORAD-системы противовоздушной обороны Северной Америки. В 1956 г. он перешел в МИТе в Школу Менеджмента. В 1982 г. Д. Форрестер был награжден премией «Пионер Компьютеров» за создание под его руководством в 50-е гг. языка программирования нижнего уровня «DYNAMO» [175].



Джей Форрестер

радаров, предполагалось сделать в наглядной форме, а не в виде «простыни» чисел.

В частности, траекторию движения самолета должна была демонстрировать на экране монитора (ЭЛТ) цепочка огоньков с нанесенными расстояниями до реперов. В декабре 1951 г. это было продемонстрировано в телевизионной программе «Смотри это сейчас» на примере реального полета ракеты «Викинг». Первая графическая

система, созданная в Лаборатории Д. Форрестера, получила название SAGE (Semi Automatic Ground Environment) [176; 177].

Система SAGE через несколько лет плавно стала использоваться и в системе управления гражданскими самолетами. Но гораздо более значимым для развития компьютерной графики оказалось создание в 1957 г. системы CAD/CAM¹ (в России получившей название САПР-системы автоматического проектирования). Создателем системы CAD/CAM был др. П. Ханратти (Patrick J. Hanratty: 1930–2008).

В 1957 г., работая в фирме General Electric над первым коммерческим языком программирования ProNTo², П. Ханратти создает систему, позволившую автоматизировать использование

¹ CAD = computer-aided design. В России аббревиатуре CAD соответствовала первоначально САПР общего назначения, а аббревиатуре CAM = computer-aided manufacturing programs – АСТПП (автоматизированная система технологической подготовки производства). Позже появилась еще одна англоязычная аббревиатура CAE (computer-aided engineering), которой, к счастью для русского языка, сокращения не нашлось. Она заменяла 4 слова: средства автоматизации инженерных расчетов [178; 179].

² ProNTo = Prolog Natural Language Tools. Напомним, этот язык появился на два года раньше КОБОЛа.

банковских чеков¹. Одновременно у него рождается идея автоматизации процесса проектирования, не нашедшая тогда признания. Только в 1961 г., перейдя в исследовательскую лабораторию фирмы General Motors, он создает первую систему CAD/CAM – интерактивной графики.

Через два года (в 1963 г.) Айвон Сазерленд разовьет визуальную симуляцию, ставшую составной частью системы CAD/CAM.



Патрик Ханратти

Впрочем, в 1970 г. П. Ханратти основал собственную компанию, оказавшуюся коммерчески несостоятельной, а вот новая компания Manufacturing and Consulting Services (MCS), образованная им через год, существенно повлияла на развитие САПР.

Заметим, что, вообще говоря, САПР состоит из двух групп подсистем: *проектирующих и обслуживающих*. Из обслуживающих подсистем нас интересует лишь подсистема графического ввода-вывода. Разумеется, в 60–70-е гг. эта подсистема была еще весьма несовершенна. И это объяснялось неразвитостью графических терминалов, подключаемых к компьютерам компаний IBM и SVC.

В теоретическом плане моделирование кривых и поверхностей любой формы стало возможным благодаря работам математиков. Прежде всего укажем на работу 1946 г. потомка немецких евреев, переселившихся около 200 лет назад на территорию Бессарабии, Исаака Шёнберга (Isaac Jacob Schönberg: 1903–1990)² [180].

¹ Эта система была одобрена Американской Банковской Ассоциацией и действует до сих пор.

² И. Шёнберг родился в 1903 г. в местечке Галати (Румыния). Степень магистра получил в 1922 г. в Ясском университете. С 1922 по 1925 г. учился в



Исаак Шёнберг

Именно И. Шёнберг создал теорию В-сплайнов, сыгравших огромную роль в геометрическом моделировании.

Следующий важный шаг в создании математического фундамента для CAD/CAM был сделан французским физиком и математиком Полем де Кастельжо (Paul de Casteljaou: 1930). В 1959 г., работая в исследовательском подразделении фирмы «Ситроен», он разработал алгоритм для оценки расчетов семейства кривых, а к 1963 г. – и семейства поверхностей [181; 182].

Первоначально и этот алгоритм, и эти кривые, и эти поверхности носили его имя. Однако вскоре эти разработки привлекли внимание директора «Рено», отвечавшего за станкостроительный парк фирмы, Пьера Безье (Pierre Étienne Bézier: 1910–1999). С 1966 г. он регулярно публикует статьи в журнале «Automatism», описывающие результаты П. де Кастельжо [183; 184]. Итог известен – и алгоритм, и кривые, и поверхности стали называть именем Безье.

С другой стороны, надо отдать должное П. Безье в развитии с конца 60-х – начала 70-х гг. системы CAD/CAM, точнее системы UNISURF [185; 186].

Берлине и Геттингене, занимаясь аналитической теорией чисел под руководством И. Шура (Issai Schur: 1875–1941). В 1926 г. И. Шёнберг получает степень Ph. D. в Яском университете. В 1926–28 гг. он преподает в Hebrew университете в Иерусалиме. В 1930 г. по стипендии Рокфеллера едет в США как профессор-исследователь, работая в Чикаго, Гарварде и Принстоне, и принимает решение остаться в США. Во время II Мировой войны работает (1943–1945) в знаменитой Испытательной Абердинской Станции вооруженных сил США. Именно тогда он и создает свою теорию В-сплайнов.

Вернемся на время в середину 50-х гг. В это время профессор МІТа Стивен Кунс (Steven Anson Coons: 1912–1979), работая в лаборатории электронных систем, выполнял заказ Chance Vought Aircraft Company¹.

В своем отчете «*An Analytic Method for Calculations of the Contours of Double Curved Surfaces*» он построил новую конечную кривую, определенную на единичном квадрате с помощью полинома седьмой степени. В сущности, этот отчет только формализовал его работу над геометрией крыла самолета, которой он занимался во время войны². Ряд публикаций С. Кунса [187; 188]³ в открытой печати, начиная с 1966 г., составили основу для применения компьютерной графики на протяжении всех 70-х гг. в американских авиастроительных компаниях, и не только в них.

С середины 60-х гг., кроме МІТа, активную разработку САПР вели ученые из университета города Цинциннати (штат Огайо), которые в 1967 г. основали компанию SDRC (Structural Dynamics Research Corporation), ставшую одним из лидеров по разработке и внедрению модификации CAD/CAM, названной I-DEAS. Другой модификацией системы CAD/CAM была система TIGER, разрабатывавшаяся, начиная с 1979 г., в корпорации Boeing и базирующаяся на неравномерных рациональных B-сплайнах (NURBS)⁴.

¹ Компания так называлась в 1954–1960 гг. С 2010 г. она носит название Triumph Group.

² Аналогичную проблему решал во время войны, но с помощью функций комплексной переменной, М. В. Келдыш (1911–1978).

³ Отметим, что упомянутые выше А. Сазерленд и Л. Робертс были студентами С. Кунса, как, впрочем, и К. Весприлл (Kenneth J. Versprille), защитивший в 1975 г. докторскую диссертацию под руководством С. Кунса, посвященную **неравномерным рациональным B-сплайнам** (см. [189]), а также Николас Негропonte (Nicholas Negroponte: 1943) – один из пионеров развития CAD, кстати, родной брат бывшего директора Национальной разведки США Джона Негропonte (John Dimitri Negroponte: 1939).

⁴ NURBS = Non-uniform rational B-spline.

Возможность графического представления любой гладкой кривой с помощью компьютера основана на том факте, что любая гладкая кривая аппроксимируется в некоторой окрестности кривой Кастельжо (Безье)¹.

А что же происходило с САПР в СССР? О развитии САПР в 70-е гг. достоверная информация пока закрыта. Первая коммерческая версия системы «Компас 1.0»² появилась лишь в 1989 г.

Впрочем, российский «след» в мировом развитии САПР есть: как хорошо известно, лидер мирового развития САПР к началу 90-х гг. компания РТС (Parametric Technology Corporation) была основана в США в 1985 г. математиком Самуэлем (Семёном) П. Гейсбергом (Samuel P. Geisberg)³, к моменту эмиграции в США прожившему более 30 лет в СССР. Компания РТС вкладывает и сейчас значительные средства в развитие информационного образования в России.



В. Н. Малозёмов

Добавим также, что в самой России усилиями школы Василия Николаевича Малозёмова (р. 1939) был создан дискретный гармонический анализ, явившийся серьезным математическим заделом для дальнейшего развития САПР и не только (см., например, [193]).

¹ Подробнее см. две работы Юджина Ли (Eugene Lee) [190; 191], участника проекта TIGER, а также работу [192].

² Разработана российской компанией «Аскон».

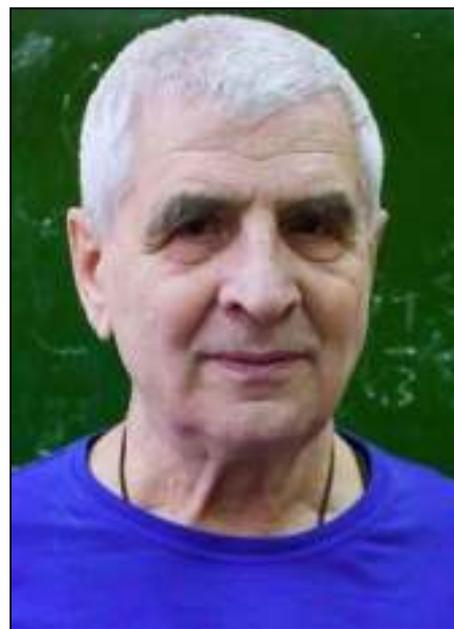
³ С. П. Гейсберг эмигрировал из Ленинграда в 1974 г., при этом его жена оставалась «невъездной» еще несколько лет.

Прежде, чем переходить к компьютерной анимации, напомним, что основными информационными моделями изображений являются **векторная информационная модель** и **пиксельная информационная модель**.

В векторной модели изображения представляются в виде линий – прямых или кривых. Для формирования пиксельной информационной модели¹ изображения выполняется разбиение (*растрирование*) плоскости на одинаковые по форме выпуклые области (чаще всего квадратные, прямоугольные или правильные шестиугольные элементы) – элементы растра. Если отказаться от требования выпуклости элементов разбиения, то процедура разбиения называется *тесселяцией* (см. [169, с. 42]).

В пределах каждого из элементов растра (тесселя) производится усреднение цветовой характеристики, а после выполнения усреднения элемент растра (тесселя) становится пикселем.

Историю компьютерной анимации начнем не в хронологическом порядке, а именно с эпизода в Москве 1968 г. В тот год впервые в СССР был сделан учебный компьютерный фильм (о деформации молекулы ДНК)², в котором ходила, как живая, «компьютерная» кошечка. Автором фильма был биолог Валерий Иванов, а автором компьютерной программы для БЭСМ-4 был его преподаватель математики, физик по образованию, Николай Николаевич Константинов (р. 1932), при участии



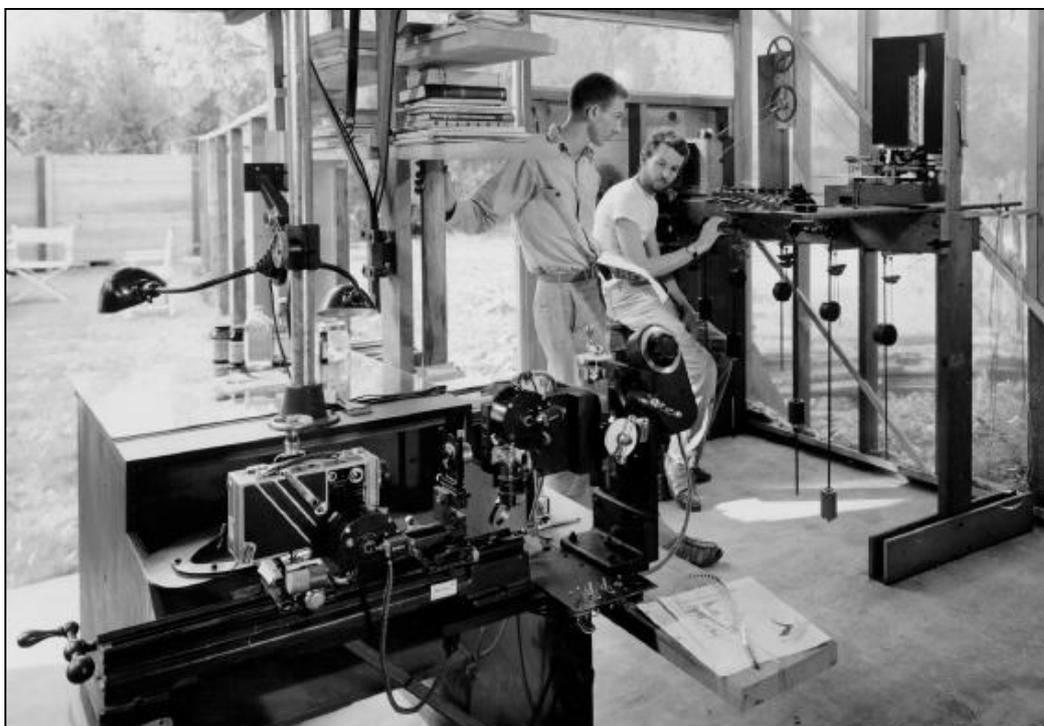
Н. Н. Константинов

¹ Устаревшее название этой модели – *точечная модель*.

² Любопытно сопоставить этот фильм с компьютерно-анимационным учебным фильмом для диабетиков А. Китчинга «Looking After Yourself» (1994).

Владимира Пономаренко и Виктора Минахина (см. «Квант». 2010. № 1).

А теперь вернемся к хронологии компьютерной анимации. Начнем с 1960 г. В тот год в США Джоном Уитни (John Whitney, Sr.: 1917–1995) была основана компания Motion Graphics Incorporation, которая использовала механический аналоговый компьютер для создания «движущихся» картинок¹. Позже (уже в 70-е гг.) для этих целей стали использовать и цифровые компьютеры [194].



Братья Джон и Джеймс Уитни

¹ Джон Уитни родился в 1917 г. в Пасадене (Калифорния). Получил степень бакалавра в Pomona College в 1937 г. Еще год (1937–38) учился в Париже. Вернувшись в 1939 г. в Америку, выпустил в 1940–45 гг. в сотрудничестве со своим братом Джеймсом (James Whitney: 1921–1982) серию экспериментальных абстрактных фильмов, награжденных в 1949 г. в Бельгии. В 50-е гг. стал использовать механическую технику анимации при создании телевизионных программ и рекламы. В США Джон Уитни назван «отцом» компьютерной анимации [195; 196]. Его брат Джеймс, кинорежиссер, с 1950 г. занимался визуализацией музыки, используя трансформацию цвета и форм [197].

Попытки использования техники, связанной с компьютерной, для графического изображения предпринимались уже со второй половины 40-х и в 50-е гг. Наиболее известен чертежник и художник из г. Чероки (штат Айова) Бен Лапоски (Ben Francis Laposky: 1914–2000)¹.



Узор Бена Лапоски

В 1960 г. служащие компании Boeing У. Феттер (William Fetter: 1928–2002) и В. Бернхардт (Walter Bernhardt), работая в знаменитой лаборатории Lawrence Livermore Lab, заложили в базу данных компьютера координаты модели самолета и получили с помощью плоттера перспективное изображение модели самолета [199].

В 1963 г. в приложении к своей диссертации А. Сазерленд привел компьютерную программу (Sketchpad), которая позволила в реальном времени рисовать кривые и поверхности на экране дисплея с помощью светового пера (подробнее см. [200]).

Через 5 лет (в 1968 г.) вместе с Дэвидом Эвансом (David Evans: 1924–1998)¹ А. Сазерленд создает компанию Evans & Suther-

¹ Б. Лапоски до 1942 г. рисовал в Чероки (Cherokee) вывески. С 1942 г. – в армии, участвовал в рейдах против японцев. Был награжден за мужество высшей наградой «Пурпурное сердце». Еще с довоенных времен увлекся магическими квадратами, публикуя их в местных газетах. После войны продолжил изготавливать вывески в Чероки. В Университете Чикаго он закончил расширенный курс элементарного рисования. Позже (после 1947 г.) для получения узоров и «визуальной» музыки начинает использовать осциллоскоп – составную часть аналогового компьютера. Выставка «Electronic Abstractions» с его работами объехала более 200 городов США. Эти работы публикуют десятки журналов, включая Scripta Mathematica. С середины 60-х гг. для получения узоров Б. Лапоски начинает использовать цифровой компьютер. В 1950 г. за работы по изучению магических квадратов был избран членом Американского Математического Общества [198].

land, явившуюся первой компанией, специализировавшейся на компьютерной графике [201].

В тот же год архитектор П. Камнитцерс (Peter Kamnitzer: 1921–1998) создает в Калифорнийском университете (Лос-Анджелес) с помощью компьютера NASA II нарисованный (впервые) пейзаж города [199].

В 1971 г. выходит первая в мире научная книга (на немецком языке) [202], посвященная компьютерной графике и компьютерному искусству. Ее автор – физик-теоретик (специализация – электронная оптика) д-р Герберт Франке (Herbert W. Franke: 1927)².

Вышедшая в 1973 г. книга [194] У. М. Ньюмена (William M. Newman)³ и Роберта Спроулла (Robert F. Sproull: 1945)⁴ «*Principles of Interactive Computer Graphics*» [194] стала *первой книгой на английском языке*, посвященной компьютерной графике (ее широко известное второе издание вышло в 1979 г.).

В декабре 1973 г. в журнале BKSTS Journal (Англия) появилось сообщение о презентации цветного фильма (на основе трех цветов: красного, зеленого и синего), созданного на базе компью-

¹ Профессор Университета штата Юта Д. Эванс был организатором факультета компьютерных наук.

² Г. Франке родился в Вене. В 1973–1997 гг. читал специальный курс «Компьютерная графика – компьютерное искусство» в Мюнхенском университете. Прославился также как автор книг по научной фантастике. (Не путать с американским писателем-фантастом Гербертом Фрэнком (Herbert Patrick Frank: 1920–1986)).

³ У. Ньюмен в 1973–79 гг. работал в исследовательском центре корпорации Херох. В 1988–2002 гг. – профессор в Кембридже (Великобритания). Основные области его интересов: компьютерная графика и интерактивные System Design.

⁴ Р. Спроул получил степень бакалавра по физике в Гарварде в 1967 г., магистра компьютерных наук – в Стэнфорде в 1970 г., и там же – Ph. D. компьютерных наук в 1977 г. Он является членом Национальной инженерной Академии США, действительным членом Американской Академии Искусства и Науки, директором Исследовательской лаборатории фирмы Oracle.

терной лаборатории Atlas около Оксфорда. Создателем фильма (и соф-та) был дизайнер Алан Китчинг (Alan Kitching). Сам софт получил название **Antics 2-D Animation (Animated Technicolor-Image Computer System)** [203]. Добавим, что в 1978 г. система Antics стала полностью интерактивной [204].



Алан Китчинг

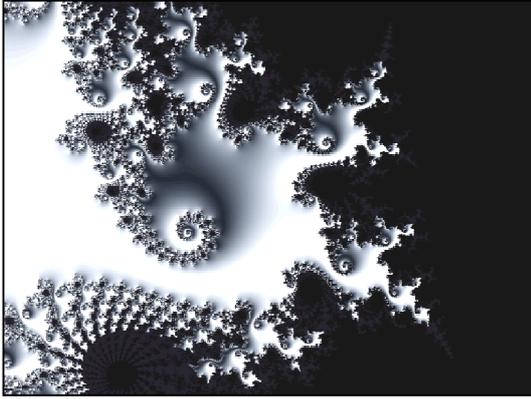
В 1975 г. в Париже вышла на французском языке книга сотрудника IBM Бенуа Мандельброта (Benoit B. Mandelbrot: 1924–2010)¹ о фракталах. Ее перевод на английский язык в 1977 г. открыл миру фрактальную геометрию [205]. Через 11 лет британский математик и предприниматель Майкл Барнсли (Michael Fielding Barnsley) публикует книгу «Фракталы повсюду» [206], в которой содержится знаменитая Collage theorem², открывшая новый путь к архивированию информации и получению новых возможностей компьютерной графики.



Бенуа Мандельброт

¹ Б. Мандельброт родился в еврейской семье в Варшаве в 1924 г. После смерти Ю. Пилсудского (1867–1935) в Польше началась компания антисемитизма на государственном уровне, и семья Мандельбротов уехала во Францию. После войны Б. Мандельброт получает степень бакалавра математики в парижском колледже *École Polytechnique*, а степень магистра по авиации – уже в США в Caltech. С 1958 г. в течение 35 лет он работает в IBM.

² Эта теорема характеризует систему итераций функций, чей аттрактор относительно метрики Хаусдорфа замкнут (подробнее см. [207; 208, с. 310–311]).



Фрактал

В 1979 г. в Лаборатории компьютерной графики Нью-Йоркского Технологического Института система CAAS (Computer-Aided Animation System) стала операционной системой, позволившей создавать трехмерные анимационные фильмы¹.

Отметим, что в России компьютерная графика была впервые применена в художественном фильме в 1994 г. (Компанией «Render Club» был подготовлен эпизод с шаровой молнией в фильме Н. С. Михалкова (р. 1945) «Утомленные солнцем»).

Прежде, чем перейти к истории интерактивных компьютерных игр, обратимся к истории создания программы Photoshop.

В 1987 г. Томас Кноль (Thomas Knoll), аспирант Мичиганского университета, начал писать программу для Macintosh Plus о переводе изображения с черно-белого дисплея на монохроматический. Его брат Джон (John Knoll: 1962) помог ему закончить программу, которую они первоначально назвали ImagePro. Через год они переименовали ее в Photoshop [209].

Знакомство с программой инженеров фирмы Apple во главе с одним из директоров Adobe Р. Брауном (Russell Preston Brown: 1907–1996) привело к решению Adobe Systems начать Distribu-

¹ В компьютерной графике для создания изображения (в том числе и 3D-изображения) используются три матрицы: **матрица поворота**, **матрица сдвига** и **матрица масштабирования**. Кстати, первый 3D-фильм, использующий анимацию (Starchaser: The Legend of Orin), был создан режиссером и продюсером Стивеном Ханом (Steven Hahn) в 1985 г. В том же году, но чуть ранее, появился немецкий мультипликационный фильм «Таран и волшебный котелок» (Taran und der Zauberkesel), содержащий 3D-элементы, генерированные компьютером.

цию этой программы. В 1990 г. программа была инсталлирована в Macintosh под названием Photoshop 1.0. Позже появилась версия Adobe Photoshop Extend, со свойством создания 3D-изображения [210].

Поскольку программа Photoshop имеет непосредственную связь с оцифровыванием изображений, то, может быть, здесь уместно заметить, что еще в 1985 г. появился первый в мире мультимедийный персональный компьютер¹ с собственной операционной системой, называвшейся также как и компьютер, «Amiga», позволивший впервые отображать фотографии на экране компьютера [212].

Из графических компьютерных игр мы остановимся только на нескольких играх, созданных с 1952 по 1984 г.

Итак, первой компьютерной графической игрой считается игра ОХО «Tic-tac-toe», созданная в 1952 г. в Англии на базе компьютера EDSAC в университете Кембриджа. Эта игра широко известна и под названием «Крестики-нолики». Автором игры был доктор Сэнди Дуглас (Alexander Shafto «Sandy» Douglas: 1921–2010)².

¹ Напомним, что первый в мире персональный компьютер был создан в СССР в 1966 г. Машина МИР (машина инженерных расчетов) была разработана под руководством академика В. М. Глушкова (1923–1982). В МИРе использовался язык программирования АЛМИР-65, расширенная русифицированная версия АЛГОЛА-60. В 1969 г. появилась ЭВМ МИР-2. В ней впервые устанавливалось световое перо, а в качестве языка служил язык АНАЛИТИК, тоже созданный под руководством Виктора Михайловича Глушкова в 1968 г. и явившийся развитием языка АЛМИР-65 (см. [211]). В США персональный компьютер APPLE II появился в 1976 г. (см. [2, с. 65]).

²С. Дуглас родился в Лондоне в 1921 г. В 1950 г. закончил учебу в Кембридже и остался там же в аспирантуре. В 1952 г. защитил докторскую диссертацию, посвященную взаимодействию человека и компьютера (HCI). Игра ОХО должна была подтвердить некоторые положения его диссертации. С 1953 по 1957 г. преподает в Trinity College, затем приглашается профессором университета в Лидсе. С 1960 г. – технический директор субсидируемой государством системы научного контроля [213].



Уильям Хайгинботам

Изобретателем следующей по времени (1958) графической компьютерной игры «Теннис для двоих» был У. Хайгинботам (William Alfred Higinbotham: 1910–1994)¹. Эта игра, использующая аналоговый компьютер и осциллограф, по сути, была первой видеоигрой. Поскольку у У. Хайгинботама не было патента (он придумал игру для посетителей дня открытых дверей Национальной Лаборатории Brookhaven²), то его авторство откры-

тия видеоигры официально не признается [214].

В 1959 г. группа студентов MIT на экспериментальном компьютере TX-O написала программу, использующую интерактивную графику, для игры «Мышь в лабиринте» («Mouse in Maze»). Эта игра существует и сейчас, но только программа переписана на Java, и появилось световое перо.

В феврале 1962 г. в MIT была продемонстрирована игра, оказавшая очень большое влияние на все последующие компьютерные игры с двумя игроками.

¹ У. Хайгинботам родился в 1910 г. в штате Коннектикут. К началу II Мировой войны закончил учебу (по физике) в Williams College и Корнельский университет. Во время войны разрабатывал новые технологии применения радаров, а позже был руководителем подразделения, отвечавшего за создание электроники для атомного проекта в Лос-Аламосе. Не случайно в 1945 г. он был избран первым Генеральным секретарем Федерации Американских ученых. С 1947 г. – руководитель метрологического подразделения в Брукхейвене, позже – член Американской Комиссии по контролю за нераспространением ядерного оружия [214].

² Эта лаборатория в штате Нью-Йорк (основана в 1947 г.), являясь одной из 16 лабораторий Министерства энергетики США, занимается в основном исследованиями в области ядерной физики и физики высоких энергий.

Игра называется «Spacemar!» («Война в Космосе»), и сюжет ее таков: два вооруженных ракетами космических корабля маневрируют в невесомости между звезд, имея ограниченные запасы топлива и ракет. Каждый игрок управляет 4-мя параметрами: вращениями (по и против часовой стрелки), тягой, стрельбой и гиперпространством. (Гиперпространство использовалось как последнее средство ухода от ракет противника, но эта возможность генерировалась случайным образом – можно было и взорваться.)

Программу игры написали в 1961 г. три участника технического клуба при MIT: Стив Рассел (Stephen Russel: 1937), Мартин Грец (Martin Graetz) и Уэйн Уитанем (Wayne Witaenem) [215].

Добавим, что платформой был компьютер PDP-1, режим игры – оба играют одновременно. Заметим еще, что на кодировку программы С. Рассел¹ затратил 200 часов.

Перенесемся теперь в 1983 г. В этот год появилась игра для одного игрока «Куб поиска» («Cube Quest»), использующая 3D-полигональную графику. Распространителем и владельцем игры является компания Simutrek Inc. За создание дизайна и программы отвечал Пол Аллен Ньюэлл (Paul Allen Newell).

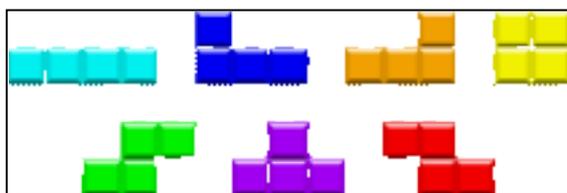


*Стив Рассел и Мартин Грец
за игрой*

¹ С. Рассел учился в MIT, а затем в аспирантуре в Dartmouth College (штат Нью-Гэмпшир). Знаменит он не только как один из создателей игры «Spacemar!», но и как программист, впервые реализовавший функции языка Lisp в компьютере IBM 704.

Возникает естественный вопрос: почему такой скачок во времени – после 1962 сразу 1983 год? Дело в том, что в этот промежуток времени на Западе развивались, главным образом, многопользовательские компьютерные игры MUD (Multi User Dugeon)¹, хотя их предшественницей считается однопользовательская текстовая игра Colossal Cave Adventure. Создателем игры был любитель-спелеолог программист Уильям Кроутер (William Crowther: 1936).

Созданная в начале 70-х, игра стала очень популярна в студенческой среде особенно, после ее усовершенствования программистом Д. Вудсом (Don Woods: 1954). С 1983 г. в эти игры вошла и графика.



Кирпичики-тетрамино

Семь кирпичиков-тетрамино падают в прямоугольный стакан. Игра заканчивается, когда новая фигурка не может поместиться в стакан. Задача игрока, поворачивая фигурки в полете, заполнять ряды, не заполняя стакан как можно дольше [217].

Создателями игры были Алексей Леонидович Пажитнов (р. 1956)² – написал алгоритм на компьютере «Электроника – 60», и

¹ Русский вариант МПМ (многопользовательский мир). Подробнее см. книгу создателя MUD1 англичанина Ричарда Бартля (Richard Allan Bartle: 1960) [216].

² А. Л. Пажитнов родился в 1956 г. в Москве. После окончания московской математической школы № 91 учился в МАИ (Московский авиационный институт). Далее был Вычислительный центр АН СССР, где занимался проблемами искусственного интеллекта и распознавания речи. Игра «Тетрис», разработанная им в 1984 г., допускала разные режимы (и один игрок, и несколько игроков). В 1988 г. он организовал компанию Anima Tek по разработке игрового и программного обеспечения. В 1991 г. переехал в США. В 1995–2005 гг. работал в фирме Microsoft. В 2005 г. перешел в фирму WildSnake Software.

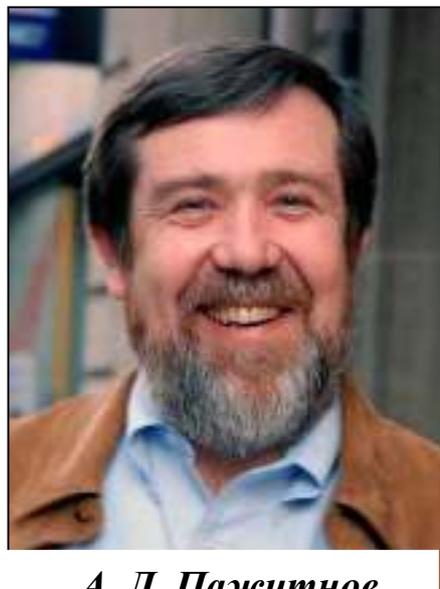
Вадим Герасимов (р. 1968)¹ – написал код для IBM PC на Turbo Pascal [218].

Последний раздел этой главы посвящен мультипарадигменному, стекковому, процедурному языку PostScript, используемому, главным образом, в издательских системах.

Язык PostScript появился в 1982–1983 гг. как ядро механизма печати семейства компьютеров Apple. Фактически язык реализует на чистой странице метод компиляции.

Разработан язык был Джоном Уорноком (John Edward Warnock: 1940) и Чарльзом Гешке (Charles Geschke: 1939), основавшим в декабре 1982 г. компанию Adobe System для коммерческой реализации и продолжения работы над языком PostScript, начатой ими еще в компании Xerox Parc, которую они покинули в 1982 г. [219].

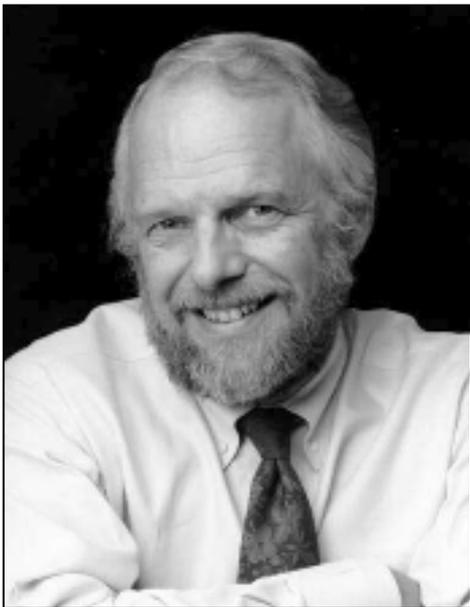
Исторически концепция языка PostScript зародилась у Д. Уорнока еще в 1976 г., когда он был сотрудником фирмы Evans & Sutherland Computer Corporation, а его коллега Д. Гафни (John Gaffney) создавал язык Design System, очень схожий с языком FORTH. Перейдя позже в исследовательский центр фирмы Xerox, он должен был участвовать в создании протокола печати Xerox.



А. Л. Пажитнов

В 2007 г. был награжден за создание игры премией Pioneer Award (Game Developers Choice) [218]. Интересно, что за год до этого такой же премии удостоились создатели игры Cave Adventure У. Кроутер (William Crowther: 1936) и Д. Вудс (Don Woods: 1954).

¹ Вадим Герасимов закончил в 1992 г. МГУ им. М. В. Ломоносова. В 1994 г. начал работать в MIT. Там же защитил в 2003 г. докторскую диссертацию по компьютерным наукам. Позже стал работать инженером в компании Google.



Джон Уорнок

Вспомнив о языке Design System, он вместе с выходцем из Англии, начавшим свою работу в CAD Centre в Кембридже, Мартином Ньюэллом (Martin Newell) на базе этого языка создает систему JaM, из которой позже и развился протокол печати InterPress [220].

Основав в декабре 1982 г. Adobe System, Д. Уорнок¹ и Ч. Гешке² ровно через 20 лет пригласили на работу (в качестве консультанта) вице-президента и главного ученого фирмы Compaq Александра (Александровича) Степанова (р. 1950)³.

¹ Д. Уорнок родился в Солт Лейк Сити (штат Юта) в 1940 г. Он получил степень бакалавра по математике и философии, степень магистра по математике и степень Ph. D. по электротехнике и компьютерным наукам в Университете штата Юта. Руководителями его докторской диссертации были Д. Эванс и А. Сазерленд. Позже он работал в их компании, а также в исследовательском центре Xerox PARC, до организации в 1982 г. вместе с Ч. Гешке компании Adobe Systems. Им получено много наград в США, но также он награжден (2004) медалью Ады Лавлейс – Британского Компьютерного общества [221].

² Ч. Гешке родился в 1939 г. в Кливленде (штат Огайо). Степени бакалавра и магистра по математике получил в Xavier University (г. Цинциннати, штат Луизиана), а степень Ph. D. по компьютерным наукам – в Carnegie Mellon University. С начала 70-х гг. Ч. Гешке работал в фирме Xerox, возглавив к 1978 г. Исследовательскую научную лабораторию, где занимались компьютерной графикой, оптикой и процессами передачи изображения. Вместе с Д. Уорноком стал заниматься созданием языка PostScript и, уйдя из фирмы Xerox, основал с Д. Уорноком фирму Adobe System. Является Председателем ее Совета Директоров. Среди его наград есть премия им. Маркони (2010) [222].

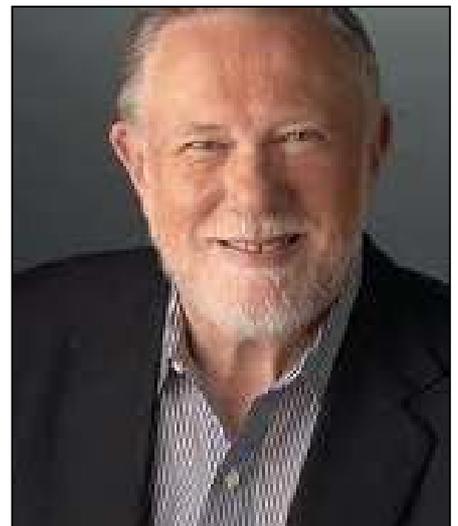
³ А. А. Степанов родился в 1950 г. в Москве. В 1967–72 гг. учился в МГУ им. М. В. Ломоносова, изучая математику, но диплома там не получил. В 1973 г. получил диплом учителя математики в Московском областном педагогическом институте им Н. К. Крупской. В 1972–76 гг. работал программистом в Институте проблем управления и в Центральном научно-исследовательском

Кроме опыта руководящей работы Степанов известен был и как программист, реализовавший свою идею **обобщенного программирования** в виде библиотеки алгоритмов на языках Scheme (диалект Lisp), Ada и C++. (Заметим, что А. Степанов проработал в фирме Adobe System до ноября 2009 г.)

Добавим, что PostScript начал завоевывать мир в 1984 г., имея ряд неоспоримых преимуществ перед остальными системами, и прежде всего платформонезависимость. В 1991 г. появилась следующая ревизия системы, названная PostScript Level 2. При этом, в частности, появилось кэширование шрифтов. Добавим, что PostScript, являясь полнофункциональным языком программирования (испытавшим влияние Forth), соединил в себе возможности принтеров и плоттеров [223].



А. А. Степанов



Чарльз Гешке

институте комплексной автоматизации (ЦНИИКА). К 1976 г. относится появление у него идеи обобщенного программирования. В 1977 г. эмигрирует в США и начинает работать в исследовательском центре компании General Electric (GE) над **языком Tecton**. Позже (до 1987 г.) преподает курс высокоуровневого программирования в Политехническом университете (Нью-Йорк) и в GE Research. Одновременно создает библиотеки алгоритмов на языках Scheme и Ada. В 1988 г. переходит в HP Labs, где к весне 1994 г. разрабатывает библиотеку STL по стандарту C++. С 1999 по 2002 г. больше занимается менеджментом (вице-президент в AT & T, а затем в Compaq), до перехода в ноябре 2002 г. в Adobe System [224].

Заканчивая эту главу, добавим, что в 90-е гг. именно в России стала бурно развиваться компьютерная графика. Не случайно в 2000 г. журнал *Computer & Graphics* посвятил специальный номер (т. 34) только компьютерной графике в России.

Впрочем, в конце 50-х – начале 60-х гг. Россия уже переживала нечто подобное, когда межпланетная станция «Луна-3» с телевизионной аппаратурой «Енисей» передавала (впервые в истории!) изображения обратной стороны Луны¹, а аппаратура «Креchet» передавала с борта «Востока» лицо Юрия Гагарина, и тогда же в Москве и Ленинграде открылись стереокинотеатры, в которых шли 3D-фильмы.

Упражнения

1. Как называлась первая графическая система, созданная в лаборатории, руководимой Джемом Форрестером?
2. Кто (и когда) был создателем первой системы CAD/CAM?
3. Как называлась составная часть системы CAD/CAM, развитая Айвоном Сазерлендом?
4. Назовите создателя теории B-сплайнов. Как называлась система модификации CAD/CAM, базировавшаяся на неравномерных рациональных B-сплайнах?
5. Когда и кем была создана компьютерная программа Sketchpad?
6. Кто автор программы Photoshop? Когда эта программа появилась?
7. Когда и кем была создана игра «Тетрис»?
8. Когда, кем и для чего был создан язык PostScript?

¹ Создателем космического телевидения был Пётр Федорович Брацлавец (1925–1999) [225].

Заключение

Проникновение компьютеров, или, шире, информационных технологий, не только в материальный мир, окружающий человека, но и в его духовный мир, за последние 60 лет оказалось столь значительным, что сообщество людей стало намного более тесным, вызвав совершенно новые его разбиения на подмножества, границы которых далеко не совпадают с границами государств.

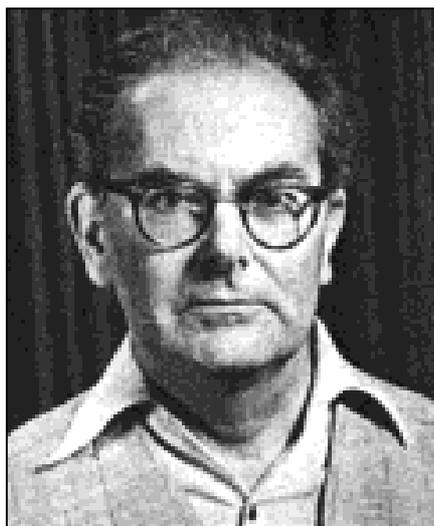
Основную роль при этом играют Интернет и социальные сети, материальными носителями которых являются сотни миллионов РС и миллиарды мобильных телефонов и других гаджетов, а также современные коммуникационные сети.

Если же касаться взаимодействия человека и компьютера, то от способа передачи (и/или получения) информации от человека к компьютеру или от компьютера к человеку, используя главным образом зрение, человек все больше начинает использовать и другие органы чувств, в первую очередь слух.

При этом особая роль принадлежит музыке. Развитие же в последние 60 лет музыкально-компьютерных технологий расширило и обогатило характер воздействия музыки на человека.

Напомним, что первым компьютером, который был использован для создания музыки, считается австралийский CSIRAC, спроектированный в конце 40-х гг. группой австралийских инженеров под руководством выпускника Imperial College (Лондон), эмигрировавшего в Австралию в 1945 г., Т. Пирси (Trevor Pearcey: 1919–1998) и выпускника Сиднейского университета М. Берда (Maston Beard: 1918).

Алгоритмическая программа для компьютерного синтеза машинного звучания музыкальных произведений была разработана Джефом Хиллом (Geoff Hil). Хотя в 1951 г. компьютер CSIRAC «дал» оригинальную аранжировку популярного марша



Тревора Пирси



Мастон Берд

«Colonel Bogey March», позже для создания музыки не использовался.

В последующие 20 лет происходило накопление опыта создания и использования музыкально-компьютерных технологий, все шире звучала электронная музыка, появлялись новые интерфейсы музыкального выражения¹.

С 1977 г. стал ежеквартально издаваться *Computer Music Journal* – американский научный журнал, освещающий проблематику цифровой обработки аудиосигналов, а также широкий круг проблем современной электронной музыки. Эту же тематику в той или иной мере затрагивают публикации в двух британских журналах: «*Journal of New Music Research*» (Издательский дом Routledge; начало издания 1972 г.) и «*Organized Sound*» (издается с 1996 г., издатель Leigh Landy (De Monfort University, Leicester)).

Среди наиболее видных представителей, начавших с 60-х гг. XX века использовать, наряду с обычными музыкальными инструментами, звучания, сгенерированные с помощью ЭВМ и специальных программ на высокоуровневых языках, ограничимся только одним из лидеров Новой музыки, создателем стохастиче-

¹ Подробнее см. [230–232].

ской музыки¹ Яннисом Ксенакисом (Iannis Xenakis = *Ιάννης Ξενάκης* (греч): 1922–2001)².

Я. Ксенакис для звукового синтеза стал использовать цепи Маркова и случайные блуждания. В композиции он стал применять метод, названный им методом решета. (Речь идет об аналоге «Эратосфенового решета» выделения простых чисел). В этой связи для сравнения может быть уместно привести одну цитату из сочинения величайшего математика XVIII века Леонарда Эйлера³: «музыканты в многоголосных сочинениях преимущественно пользуются пятым родом, экспонент которого



Яннис Ксенакис

¹ Под стохастической музыкой понимается вероятностная организация музыкальной ткани в отличие от линейной полифонии.

² Я. Ксенакис родился в 1922 г. в г. Брэила (Королевство Румыния) в греческой семье любителей музыки. С раннего детства Яннис был окружен миром музыки, а игре на фортепьяно его учила мать – сама прекрасная пианистка. В 1932 г. семья переехала в Грецию. В 1940 г. Я. Ксенакис начинает учиться в Политехническом университете в Афинах, одновременно изучая музыкальную композицию и контрапункт. Во время II Мировой войны Я. Ксенакис – активный участник Сопротивления. Получив диплом инженера в 1946 г., он, не желая служить в греческой армии, бежит через Италию во Францию, где его берет в 1948 г. в свою мастерскую знаменитый архитектор Ле Корбюзье (le Corbusier: 1887–1965; настоящее имя Edouard Jeanneret). Параллельно, в 1950–53 гг. Я. Ксенакис изучает композицию в Парижской консерватории и начинает писать музыкальные сочинения. Наибольший резонанс вызвала его пьеса «Metastasis» (1954). В 1960 г. Я. Ксенакис покидает мастерскую Ле Корбюзье, целиком посвятив себя музыке. При этом он начинает использовать звучания, сгенерированные на компьютере, на основе программ, написанных им на языке Fortran. Всемирную славу принесли ему балеты («Kraanerg», «Antikhthon»), а также светомузыкальные представления (политопы) [227; 228].

³ Leonhard Euler (1707–1783) родился в Базеле (Швейцария), умер в Санкт-Петербурге.

2ⁿ·3·5; в нем содержатся не только все гармонические трезвучия, но и многие так называемые диссонансы»¹.

Вернемся к Я. Ксенакису. В 1963 г. он написал пьесу «Eonta». Основная идея сочинения – рождение Бытия из хаоса не-Бытия [228]. Создание этой пьесы инспирировало желание Я. Ксенакиса в сопровождении музыки специальными световыми эффектами,



Б. М. Галеев

которые он сам программировал на компьютере. Эти представления он называл политопами.

Совершенно независимо от Я. Ксенакиса, компьютерной светомузыкой, начиная с 1960 г., в России стал заниматься Булат Махмудович Галеев (1940–2009)².

Еще в 1910 г. русский композитор и пианист Александр Николаевич Скрябин (1872–1915)³ написал симфоническую поэму «Прометей», в парти-

¹ Л. Эйлер. Опыт новой теории музыки, ясно изложенной в соответствии с непреложными принципами гармонии / пер. с лат. Н. А. Алмазовой. – Санкт-Петербург: Нестор-История, 2007. – С. 203.

² Б. М. Галеев в 1962 г. окончил физико-математический факультет Казанского пединститута. В дальнейшем занимался исследованием синтеза искусств, истории светомузыки, светозвуковой сценографии. Разработал «периодическую» систему искусств. Кандидат философских наук (1973), доктор философских наук (1987), профессор (с 1990 г.) Казанской консерватории. Книга Б. М. Галеева «Светомузыка. Становление и сущность нового искусства» (Казань: Таткнигоиздат, 1976. – 272 с.) переведена на ряд иностранных языков.

³ А. Н. Скрябин родился в 1871 г. в Москве в студенческой семье будущего дипломата Н. А. Скрябина (1849–1915). С 5 лет играл на фортепиано. По семейной традиции учился во 2-м Московском кадетском корпусе. При этом брал уроки музыки у композитора С. И. Танеева (1856–1915). В 1890 г. поступил в Московскую консерваторию, окончив ее в 1892 г. по классу фортепиано с малой золотой медалью. С 1897 г. жил за границей, исполняя собственные произведения. Неосуществленный замысел – симфония «Мистерия», где кроме звуков и красок добавлялись движение, звучащая архитектура и даже запахи [229].

туру которой он включил партию световой клавиатуры. Через 50 лет именно Б. М. Галеев исполнил замысел А. Н. Скрябина. Более того, в 1964–1965 гг. Б. М. Галеев создает кинофильм «Прометей» на музыку А. Н. Скрябина, ставший классикой мирового авангардного кино.

В 1990 г. Б. М. Галеев пишет компьютерную программу для цветных проекторов при исполнении «Аллилуйя» величайшей женщины-композитора XX века Софии Асгатовны Губайдулиной (р. 1931)¹, по замыслу которой, кроме исполнения хором, оркестром, органом и солистом-дискантом, должна исполняться и партия Света.

В последние годы жизни Б. М. Галеев занимался экспериментами по компьютерному преобразованию графических структур в музыкальные.

В § 27 мы уже говорили о возможности преобразования движения рук в звуки голоса и музыки без непосредственного контакта. В то же время с помощью компьютеров уже идет процесс создания устройств, позволяющих преобразовывать сигналы мозга в движение искусственной руки, что в перспективе позволит получать звуки голоса и музыки, пользуясь лишь сигналами мозга. Тем самым компьютер откроет человеку новые горизонты как человеку-Творцу.



А. Н. Скрябин



С. А. Губайдулина

¹ С. А. Губайдулина родилась в 1931 г. в г. Чистополе (Татарская АССР). Сохраняя российское гражданство, с 1991 г. живет в Германии.

Список литературы

[1] Одинец В. П. *Зарисовки по истории компьютерных наук* : учебное пособие : в 3 ч. – Сыктывкар : Коми пединститут, 2011. – Ч. I. – 200 с.

[2] Одинец В. П. *Зарисовки по истории компьютерных наук* : учебное пособие : в 3 ч. – Сыктывкар : Коми пединститут, 2012. – Часть II. – 98 с.

[3] *Очерки истории информатики в России* / ред.-сост. Д. А. Поспелов, Я. И. Фет. – Новосибирск : Научно-издательский центр ОИ ГТМ СО РАН, 1998. – 664 с.

[4] *Книжная серия «История информатики» (Краткое содержание)* / ред.-сост. Я. И. Фет. – Новосибирск : Изд-во ИВМиМГ СО РАН, 2009. – 98 с.

[5] *История информатики в России. Ученые и их школы* / сост. В. Н. Захаров, Р. И. Подловченко, Я. И. Фет. – М. : Наука, 2003. – 486 с.

[6] *История информатики и философия информационной реальности* : учебное пособие для вузов / под ред. чл.-корр. РАН Р. М. Юсупова, проф. В. П. Котенко. – М. : Академический Проект, 2007. – 432 с.

[7] Левин В. И. *История информационных технологий* : учебное пособие. – М. : Бином, 2007. – 336 с.

[8] *История информатики и кибернетики в Санкт-Петербурге (Ленинграде)* / под общ. ред. чл.-корр. РАН Р. М. Юсупова; сост. М. А. Вус (Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН). – СПб. : Наука, 2008. – Вып. 1. – 353 с.

[9] *История информатики и кибернетики в Санкт-Петербурге (Ленинграде)* / под общ. ред. чл.-корр. РАН Р. М. Юсупова; сост. М. А. Вус (Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН). – СПб. : Наука, 2010. – Вып. 2. – 150 с.

[10] *История информатики и кибернетики в Санкт-Петербурге (Ленинграде)* / под общ. ред. чл.-корр. РАН Р. М. Юсупова; сост. М. А. Вус (Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН). – СПб. : Наука; Изд-во ООО «Анатолия», 2012. – Вып. 3. – 216 с.

- [11] *Lexikon der Ägyptologie. Band VI, Stele – Zypresse.* – Wiesbaden : Otto Harrassowitz, 1986. – 1026 s.
- [12] *Lexikon der Ägyptologie. Band IV, Megiddo – Pyramiden.* – Wiesbaden : Otto Harrassowitz, 1982. – 1138 s.
- [13] Кießkalt Е. *Die Entstehung der Post.* – Bamberg : Duckstein, 1930. – 200 s.
- [14] Бамбер Г. *Краткая история династий Китая* / пер. с англ., под ред. Е. А. Кия). – СПб. : Евразия, 2009. – 336 с.
- [15] Маккей Э. *Древнейшая культура долины Инда* / пер. с англ. М. Б. Граковой-Свиридовой. – М. : ИЛ, 1951. – 180 с.
- [16] Ермолаев И. П. *Рюриковичи. Прошлое в лицах (IX–XVI вв.)* : биографический словарь / науч. ред. И. Н. Данилевский. – М. : ОЛМА-ПРЕСС, 2002. – 192 с.
- [17] *Большая Советская Энциклопедия* / гл. ред. Б. А. Введенский). – М. : Гос. науч. изд-во «БЭС», 1955. – Т. 33. – 672 с.
- [18] *Толковый словарь русского языка* / под ред. Д. Н. Ушакова. – М. : Госиздат. ин. и нац. словарей, 1940. – Т. IV. – 1501 с.
- [19] Украинцев Ю. Д., Цветов М. А. *История связи и перспективы развития телекоммуникаций* : учебное пособие. – Ульяновск : УлГТУ, 2009. – 128 с.
- [20] Guy de Saint Denis. *La télégraphie Chappe.* – Nancy : FNARH, 1993. – 441 p.
- [21] Лебедев В. И. *Оптический телеграф И. П. Кулибина* // Вестник связи. Электросвязь. – № 12 (1946). – С. 17–21.
- [22] Prosser R. B. *Morrison, Charles (1894)* // Dictionary of National Biography. 1885–1900. – V. 39.
- [23] Munro J. *Heroes of the Telegraph.* – Whitefish, Montana : Kessinger Publishing, 2004. – 180 p.
- [24] Wessel H. A. *Die Entwicklung des elektrischen Nachrichtenwesens in Deutschland und die rheinische Industrie.* – Wiesbaden : Steiner, 1983.

[25] Siemon Rolf. *Samuel Thomas Soemmerring (1755–1830)* // Schriften des Westpreußischen Landesmuseum (71). – Westpreußisches Landesmuseum, 2004.

[26] Staiti P. J. *Samuel F. B. Morse*. – Cambridge, Mass. : Cambridge University Press, 1989. – 387 p.

[27] Уилсон М. *Американские ученые и изобретатели* / пер. с англ. В. Рамзеса; под ред. Н. Тренёвой. – М. : Знание, 1975. – 136 с.

[28] Каменский А. В. *Эдисон и Морзе: их жизнь и научно-практическая деятельность*. – СПб. : Тип. Ю. Н. Эрлих, 1891.

[29] Яроцкий А. В. *Павел Львович Шиллинг*. – М.–Л. : Госэнергоиздат, 1953.

[30] Кузнецов И. В. *Борис Семенович Якоби (1801–1874)* // Люди русской науки. – М.–Л. : ГИТТЛ, 1948. – Т. 2. – 554 с.

[31] Hempel P. *Deutschsprachige Physiker im alten St. Petersburg*. – Oldenburg, München : Schriften des Bundesinstitut für Ostdeutschekultur und Geschichte, 1999. – Bd. 2. – 254 s.

[32] Beauchamp K. G. *History of Telegraphy: Its Technology and Application*. – IEEE, 2001. – 413 p.

[33] Evershed S. *The life and work of David Hughes* // Journal of the IRE. – 1931. – V. 69. – P. 1245–1250.

[34] Одинец В. П. *К 200-летию со дня рождения создателей вычислительных машин, представленных к Демидовской премии Х. З. Слонимского и Г. Куммера* // Вестник Сыктывкарского университета. – Сер. 1. – Вып. 13 (2011). – С. 137–144.

[35] Blumtritt O. *Reis, Johann Philipp* // Neue Deutsche Biographie 2 / Bayerischen Akademie der Wissenschaften. – Berlin : Duncker & Humblot, 2003. – 381 s.

[36] Thompson S. P. *Philipp Reis: Inventor of the telephone*. – London : E & F. N. Spon, 1883.

[37] Catania V. *Antonio Meucci inventore del telefono*. – Notiziario Tecnico Telecom, 2003. – 110 p.

[38] Митчел У. *Американские ученые и изобретатели*. – М. : ИЛ, 1964.

- [39] Appleby T. *Mahlon Loomis, Inventor of Radio*. – Washington DC : Loomis Publication, 1967. – 145 p.
- [40] Григорьян А. Т., Вяльцев А. Н. *Генрих Герц. 1857–1894*. – М. : Наука, 1968. – 312 с.
- [41] *Индукционная катушка или спираль Румкорфа и ее изготовление* / пер. с англ. с доп. Л. А. Боровича. – Брянск : Тип. Л. И. Итина, 1908. – 98 с.
- [42] Dilhac J.-M. *Édouard Branly, the Coherer, and the Branly effect – History of Communication* // *Communications Magazine IEEE*. – V. 47. – № 9 (2009).
- [43] Фейгин О. *Никола Тесла: наследие великого изобретателя*. – М. : Альпинанон-фикшн, 2012. – 328 с.
- [44] Ржонсницкий Б. Н. *Никола Тесла (к 100-летию со дня рождения)* // *Вестник АН СССР*. – № 7 (1956). – С. 90.
- [45] Gregory R. F., Ferguson A. *Oliver Joseph Lodge. 1851–1940* // *Obituary Notices of Fellows of the Royal Society*. – 3 (10). – P. 550.
- [46] Ржонсницкий Б. Н. *Дмитрий Александрович Лачинов*. – М.–Л. : Госэнергоиздат, 1955. – 242 с.
- [47] Попов А. С. *Прибор для обнаружения и регистрирования электрических колебаний* // *Журнал Русского физико-химического общества*. – № 1 (1896). – С. 1–14.
- [48] Susskind Ch. *Popov and the beginnings of radiotelegraphy* // *Proc. IRE* (1962). – V. 50. – P. 29–36.
- [49] Marconi G. *Wireless Telegraphic Communication: Nobel Lecture, 11 December 1909* // *Nobel Lectures. Physics. 1901–1921*. – Amsterdam : Elsevier Publishing Company, 1967. – P. 196–222.
- [50] McHenry R. *Guglielmo Marconi* // *Encyclopedia Britannica*. – 15th ed. (1993).
- [51] Kurylo F. *Ferdinand Braun: Leben und Wirken des Erfinders der Braunschen Röhre. Nobelpreis 1909*. – München : Moos Verlag, 1965.
- [52] Geddes P. *The life and work of Sir Jagadis C. Bose*. – London : Longmans, 1920.

[53] Наг К. *Исследования и открытия сэра Дж. Ч. Босе* (публикация С. С. Родченко). – СПб. : Ариаварта. – Вып. Начальный (1996). – С. 136–152.

[54] Таненбаум Э., Уэзеролл Д. *Компьютерные сети*. – 5-е изд. – СПб. : Питер, 2012. – 960 с.

[55] Schwartz M., Abramson N. *The Alohanet – surfing for wireless data [History of Communication]* // Communications Magazine IEEE. – V. 47. – № 12 (2009). – P. 21–25.

[56] Port O. *Larry Roberts: He made the Net Work* // Business Week. 2004–09–27.

[57] Rosenbaum P. *Web pioneer recalls' birth of the Internet* // CNN. – 2009. – 29 October.

[58] Kleinrock L., Tobagi F. *Random Access Techniques for Data Transmission over Packet-Switched Radio Channels* / Proc. Nat. Computer Conf., 1975. – P. 187–201.

[59] Цыбаков Б. С., Михайлов В. А. *Свободный синхронный доступ пакетов в широкополосный канал с обратной связью* // Пробл. передачи информ. – Т. 14. – № 4 (1978). – С. 32–59.

[60] Цыбаков Б. С., Берковский М. А. *Множественный доступ с резервированием* // Пробл. передачи информ. – 1980. – Т. 16. – № 1. – С. 50–76.

[61] Цыбаков Б. С., Введенская Н. Д. *Стек-алгоритм случайного множественного доступа* // Пробл. передачи информ. – 1980. – Т. 16. – № 3. – С. 80–94.

[62] Györfi L., Györi S. *Analysis of tree algorithm for collision resolution* // International Conference on Analysis of Algorithms (Nancy, France), 2005. – AFIPS Press, Proc. DMTCS, 2005. – P. 357–364.

[63] Baran P. *On Distributed Communications Networks* / RAND Corporation papers, document P-2626 (1962).

[64] Baran P. *On Distributed Communications: I. Introduction to Distributed Communication networks*. Memorandum RM-420-PR, Rand Corporation. – Aug. 1964.

[65] *Internet pioneer Paul Baran passes away* // BBC. – 2011. – March 28.

[66] Sweet W. *Profile: Robert Metcalfe* // IEEE Spectrum. – 33(6). – June 1996. – P. 48–49, 52–55.

[67] Feller W.V. *Boggs, David R.* // Home front heroes: a biographical dictionary of Americans during wartime. 1 (ed. Benjamin F. Shearer). – Greenwood Publishing Group, 2007. – P. 101–103.

[68] Metcalfe R. M., Boggs D. R. *Ethernet: Distributed Packet Switching for Local Computer Networks* // Commun. of the ACM. – V. 19. – July 1976. – P. 395–404.

[69] Needham R. M. *Donald Watts Davies. C.B.E. 7 June – 28 May 2000* // Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society. – 2002. – № 48. – P. 87.

[70] Roberts L. G. *Multiple Computers Networks and Intercomputer Communication* / Proc. First Symp. on Operating Systems Prin. // ACM. – 1967. – P. 3.1–3.6.

[71] *How the Computer Became Personal* // New York Times. – 2001. – August 19.

[72] *The fathers of the mobile phone and email, Prince of Asturias Award Laureates for Technical and Scientific Research: press release* // Fundación de Asturias. – 2009–06–17.

[73] Cerf V., Kahn R. *A Protocol for Packet Network Interconnection* // IEEE Transaction on Communications. – Vol. COM-22 (May 1974). – P. 637–648.

[74] Cerf V. *Multiprocessors, Semaphores, and a Graph Model of Computation* : Ph. D. thesis. – Los Angeles : University of California, 1972.

[75] *Internet Pioneers Cerf and Kahn to receive ACM Turing Award* // ACM. – 2005–02–16.

[76] Gaines A. *Tim Berners-Lee and the Development of the World Wide Web (Unlocking the Secrets of Science)*. – Newark, Delaware : Mitchell Lane Publishers, 2001.

[77] Berners-Lee T., Cailliau A., Luotonen A., Nielsen H. F., Secret A. *The World Wide Web* // Commun. of the ACM. – Vol. 37 (1994). – P. 76–82.

[78] Gillies J., Cailliau R. *How the Web Was Born: The Story of the World Wide Web*. – Oxford : Oxford Paperbacks, 2000.

[79] *Oral History Interview with Mark P. McCahill*. – Minneapolis : Charles Babbage Institute, University of Minnesota, 2001.

[80] Berners-Lee T. *Weaving the Web: Origins and Future of the World Wide Web*. – Cheshire, UK : Texere Publishing, 1999.

[81] Payment S. *Marc Andreessen and Jim Clark: The founders of Netscape*. – The Rosen Publishing Group, 2006. – 75 p.

[82] Clark J., Owen E. *Netscape Time: The Making of the Billion-Dollar Start-Up That Took On Microsoft*. – New York : St. Martin's Press, 1999.

[83] *The Agreement Between Canada and the United States* // Treaty Series. – 1958. – No. 9.

[84] Шебшаевич В. С., Дмитриев П. П., Иванцевич Н. В. и др. *Сетевые спутниковые радионавигационные системы* / под ред. В. С. Шебшаевича. – 2-е изд., пер. и доп. – М. : Радио и связь, 1993. – 408 с.

[85] *ГЛОНАСС: принципы построения и функционирования* / под ред. А. И. Перова, В. Н. Харитонова. – 3-е изд., пер. – М. : Радиотехника, 2005. – 688 с.

[86] Островский А. М. *Социально-философские основания гуманизации человеко-компьютерного взаимодействия (Опыт междисциплинарного исследования)* : монография. – М. : Издатель А. М. Островский, 2010. – 583 с.

[87] Раскин Д. *Интерфейс: новые направления в проектировании компьютерных систем* / пер. с англ. – СПб. : Символ-Плюс, 2004. – 272 с.

[88] Иванов Б. А., Одинец В. П., Ахмедов И. М., Пинаев А. Б. *Методические указания по применению системы диалоговой телеобработки «ЖЕС» в учебном процессе и научно-исследовательской работе*. – Л. : Изд-во ЛФЭИ, 1983. – 35 с.

[89] Hopper G. *The education of a computer* / Proceedings of the 1952 ACM national meeting (Pittsburg). – P. 243–249. – New York : ACM, 1952.

[90] Ершов А. П., Звенигородский Г. А., Первин Ю. А. *Школьная информатика. Концепции, состояние, перспективы*. – Новосибирск : Препринт СО АН СССР, 1979. – 151 с.

[91] Ершов А. П. *Программирующая программа для быстродействующей электронной счетной машины*. – М. : АН СССР, 1958. – 116 с. (Пер. с англ.: *Programming Programme for the BESM computer*. – London: Pergamon Press, 1959. – 158 p.).

[92] Shackel B. *Ergonomics for a computer* // Design. – No. 120. – 1959. – P. 36–39.

[93] Shackel B. *Ergonomics in the design of a large digital computer console* // Ergonomics. – 5 (1962). – P. 229–241.

[94] Shackel B. *Multi-access computer systems – some needs for human factors studies* // EMI Electronics Report. – 1965. – IMP-F1-2-2.

[95] Shacel B. *Human-computer interaction – Whence and whither?* // Journal Interacting with Computers archive. – Vol. 21. – Issue 5–6. – December, 2009. – P. 353–366.

[96] Grudin J. *Brian Shackel's contribution to the written history of Human-Computer Interaction* // Interacting with Computers. – 21 (2009). – P. 370–374.

[97] *Enable Talk Gloves* // Time (Tech). – 2012. – Nov. 01.

[98] Licklider J. C. R. *Man-computer symbiosis* // IRE Transaction on Human Factors in Electronics. – Vol. HFE-1 (1960). – P. 4–11.

[99] Licklider J. C. R. *Problems in man-computer communication* // Communication Processes (1963) (ed. by F. A. Geldard). – Oxford : Pergamon, 1965. – P. 260–266.

[100] Licklider J. C. R. *Man-computer partnership* // International Science and Technology. – May, 1965. – P. 18–26.

[101] Jordan N. *Motivational problems in human-computer operations* // Journal of the Human Factors and Ergonomics Society. – V. 4. – No. 3 (1962). – P. 171–176.

[102] Fano R.M. *Joseph Carl Robnett Licklider (1915–1990). Biographical Memoir.* – Washington D. C. : National Academies Press, 1998.

[103] Licklider J. C. R. and Clark W. E. *On-line man-computer communication* // Proceeding AIEE-IRE, spring joint computer conference. – May 1–3. – 1962. – P. 113–128.

[104] Engelbart D. C. *A Conceptual Framework for the Augmentation of Man's Intellect* // *The Augmentation of Man's Intellect by Mashine* (ed. by P. W. Howerton and D. C. Weeks). – Washington : Spartan Books, 1963. – P. 1–29.

[105] Friedewald M. *Konzepte der Mensch-Computer-Kommunikation in der 1960er Jahren: J. C. R. Licklider, Douglas Engelbart und der Computer als Intelligenzverstärker* // *Technikgeschichte*, 67. – 2000. – No. 1. – S. 1–24.

[106] *Berkshire Encyclopedia of Human-Computer Interaction.* – Massachusetts : Berkshire Publishing, 2004. – 2 Vol. – 1000 p.

[107] *Professor Sir Maurice Wilkes (Obviature)* // *The Daily Telegraph.* – 2010. – 30 November.

[108] Wilkes M. V. *The Digital Computer in the Drawing Office* // *Control.* – 1962. – Vol. 7. – P. 61.

[109] Wilkes M. V. *Computer Graphics (Fibonacci Lecture 1966).* C.S.C.E. – Pisa : Pisa Publication. – 1967. – No. 100.

[110] Voas R. B. *A description of the astronaut's task in project mercury* // *Journal of Human Factors.* – 1961. – № 3. – S. 149–165.

[111] Gass S. I. *The role of digital computers in Project Mercury* // *Proceeding of eastern joint computer conference AFIPS '61 December 12–14, 1961: computers – key to total systems control.* – New York : ACM, 1961. – P. 33–46.

[112] Marshall W., Dantzig G. B. *Programming of Interdepend Activities: I General Discussion* // *Econometrica.* – Vol. 17 (3). – 1949. – P. 193–199.

[113] Gass S. I. *George B. Dantzig* // *Profiles in Operations Research.* International Series in Operations Research & Management Science. – 2011. – № 147. – P. 217–240.

[114] Riley V., Gass S. I. *Linear Programming and Related Techniques; A Comprehensive Bibliography*. Operations Research Office. – Chevy Chase, Maryland : John Hopkins Press, 1958.

[115] Гейл Д. *Теория линейных экономических моделей* / пер. с англ. Л. И. Горькова, С. С. Кислицина и И. Л. Романовской; под ред. Н. Н. Воробьёва. – М. : ИЛ, 1963. – 418 с.

[116] Assad A. A. *Four Score Years of Saul I. Gass: Portrait of an OR Professional* // *Perspectives in Operation Research* (eds. F. B. Alt; M. C. Fu; D. L. Golden). – Berlin-New York : Springer, 2006. – P. 23–72.

[117] Соснин П. И. *Человеко-компьютерная диалогика*. – Ульяновск : УГТУ, 2001. – 285 с.

[118] Norman A. D. *The Invisible Computer. Why Good Products Can Fail, the Personal Computer Is So Complex, and Information Appliances Are the Solution*. – Cambridge, Massachusetts : MIT Press, 1998. – 316 p.

[119] Wang An with Linden E. *Lessons: An Autobiography*. – Boston : Addison Wesley, 1986. – 230 p.

[120] Rosenberg R. *Company Fumbles Its Alliance with Giant IBM* // *Boston Globe*. – 1992. – July 28. – Business section, p. 37.

[121] Negri G. *Dr. Ge Yao Chu, cofounder of Wang Laboratories; at 93* // *The Boston Globe*. – 2011. – August 30.

[122] Webster E. *Print Unchained: Fifty Years of Digital Printing, 1950–2000 and Beyond*. – DRA of Vermont, Inc., 2000.

[123] Markoff J. *Alan F. Shugart, 76, a developer of Disk Drive Industry, Dies*. – *The New York Times, Obituaries*. – 2006–12–15.

[124] *Академическое дело, 1929–1931 гг. : документы и материалы следственного дела, сфабрикованного ОГПУ* / ред. кол.: В. П. Леонов (отв. ред.), Ж. И. Алфёров, Б. В. Ананьич и др.; библиотека РАН. – СПб. : Изд-во БАН, 1988.

[125] Блинов В. И., Урвалов В. А. *Б. Л. Розинг*. – М. : Просвещение, 1991. – 64 с.

[126] Васин А. Н., Велембовская К. М. *Страницы биографии «Отца телевидения» В. К. Зворыкина* // Новая и новейшая история. – 2009. – № 5. – С. 201–218.

[127] Abramson A. *Zvorykin, Pioneer of Television*. – Champaign : University of Illinois Press, 1995.

[128] Bitzer D. L., Braunfeld P., Lichtenberger W. *PLATO : An automatic teaching device* // IRE Transactions on Education, E-4. – Dec. 1961. – P. 157–161.

[129] Bitzer D. L., Lichtenberger W., Brauenfeld P. G. *PLATO II : A multiple-student computer controlled teaching machine* // Programmed Learning and Computer-based Instruction (ed. by Coulson). – New York : John Wiley & Sons, 1962. – P. 205–216.

[130] Bitzer D. L., Braunfeld P. *A computer-controlled teaching system (PLATO)* // *New Media in Higher Education* (ed. by Brown and Thornton). – Washington, D.C. : National Education Association, 1963. – P. 108–110.

[131] Hochheiser S. *Oral history interview with Donald Bitzer*. – Minneapolis : Charles Babbage Institute Collection, University of Minnesota, 12/19/1988.

[132] Dunmur D., Sluckin T. *Soap, Science, and Flat-screen TVs : a history of liquid crystal*. – Oxford : Oxford University Press, 2011. – 254 p.

[133] Bilby K. *The General : David Sarnoff and the Rise of the Communications Industry*. – New York : Harper & Row, 1986. – 326 p.

[134] *EGA Boards Labeled 'Accepted Standard'* // Info World. – 1985. – Vol. 7. – No. 51. – P. 14.

[135] Aho A., Kernighan B. W., Weinberger P. J. *AWK – A Pattern Scanning and Processing Language* // *Software – Practice and Experience*. – 9 (4). – April 1979. – P. 267–280.

[136] Norton P. *Inside the IBM PC : access to advanced features and programming*. – R. J. Brady Co., 1983. – 262 p.

[137] Турчин В. Ф. *Феномен науки. Кибернетический подход к эволюции*. – 2-е изд. – М. : Словарное издательство ЭТС, 2000. – 368 с.

[138] Shirakawa H., Louis E., MacDiarmid A. G., Chiang C. K., Heeger A. J. *Synthesis of electrically conducting organic polymers: Halogen derivatives of polyacetylene, (CH)_x*. // Journal of the Chemical Society, Chemical Communications (16). – 1977. – P. 578.

[139] Chang K. *Alan MacDiarmid, 79, Who Won Nobel for Work With Plastic, Dies* // The New York Times. Obituaries. – 2007. – 8 February.

[140] Round H. J. *A note on carborundum* // Electrical World. – 1907. – № 49. – P. 309.

[141] Новиков М. А. *Олег Владимирович Лосев – пионер полупроводниковой электроники (к столетию со дня рождения)* // Физика твердого тела. – 2004. – Т. 46. – Вып. 7. – С. 5–9.

[142] Остроумов Б. *Памяти В. К. Лебединского* : некролог // Успехи физических наук. – 1938. – Т. 19. – Вып. 4. – С. 441–447.

[143] Holonyak N. *Coherent (visible) light emission from GaA_{1-x}P_x junctions* // Appl. Phys. Lett. – 1962. – Vol. 1. – P. 82–83.

[144] *Nick Holonyak : He Saw The Lights* // Business Week. – 2005. – May 22.

[145] Zheludev N. *The life and the time of the LED – a 100-year history* // Nature Photonics. – 2007. – № 1 (4). – P. 189–192.

[146] Tidwell M., Johnston R. S., Melvill D., Furnes III T. A. *The Virtual Retinal Display – A Retinal Scanning Imaging System*. – Seattle : Ph. D. Human Interface Technology Laboratory, University of Washington, 1992. – P. 1–95.

[147] Kazuo Yoshinaka. *Display Device*. – Nippon Electric Company. 1986–09–03. Japanese publ. number JP 61198892.

[148] Hodges L. F. *Time-Multiplexed Stereoscopic Computer Graphics* // IEEE Computer Graphics. – 1992. – V. 12. – No. 2. – P. 20–30.

[149] Шелухин О. И., Лукьянцев Н. Ф. *Цифровая обработка передачи речи*. – М. : Радио и Связь, 2000. – 456 с.

[150] Stafford-Fraser Q. *The Life and Times of the First Web Cam. (When convenience was the mother of invention)* // Communications of the ACM. – July 2001. – Vol. 44. – No. 7. – P. 25–26.

[151] Eyck C. *Die Kunst des Thereminspiels (The Art of Playing the Theremin)*. – Berlin : SERVI Verlag, 2006.

[152] Махун С. *Доктор Фаустус XX века. Лев Термен, опередивший время – «не более, не менее»* // Зеркало недели. – 2004. – № 46 (521). – 13–19 ноября.

[153] Глебкин В. В. *Мир в зеркале культуры. Ч. 1. История древнего мира*. – М. : Добросвет, 2000. – 256 с.

[154] Zable J. L., Lee H. C. *An overview of impact printing* // IBM Journal of Research and Development. – Nov. 1997. – Vol. 41. – Issue 6. – P. 651–668.

[155] Singh M. and al. *Inkjet Printing – Process and its Applications* // Advanced Materials. – 2009. – 22 (6).

[156] Owen D. *Copies in Seconds – Chester Carlson and the Birth of the Xerox Machine*. – New York : Simon & Schuster, 2004. – 320 p.

[157] Urbons K. *Chester F. Carlson und die Xerografie*. – Mülheim : Urbons Dokumentation, 2008.

[158] Kornei O. *Structure and Performance of Magnetic Transducer Heads* // Journal of Audio Engineering Society. – July 1953. – Vol. 1. – No. 3. – P. 225–231.

[159] Kornei O. *Survey of Flux-Responsive Magnetic Reproducing Heads* // Journal of Audio Engineering Society. – July 1954. – Vol. 2. – No. 3. – P. 145–150.

[160] Жилевич И. И., Немировский Е. Л. *Электрофотография*. – М. : Искусство, 1961. – 128 с.

[161] Сташевский В. М. *Алфавитно-цифровое печатающее устройство* // Большая советская энциклопедия. – 3-е изд. – М. : Советская энциклопедия, 1969. – Т. 1.

[162] Ланина Э. П. *История развития вычислительной техники*. – Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2001. – 167 с.

[163] *Воспоминания Л. В. Власовой – инженера-наладчика ЭВМ «Урал-1»* (2003) : сайт. URL: http://kik-sssr.narod.ru/Ural-1_IVC_Vaikonur.htm

[164] Schiffer M. B. *Power Struggles: Scientific Authority and the Creation of Practical Electricity Before Edison*. – Cambridge, MA : MIT Press, 2008.

[165] Beyer R. *The Greatest Stories Never Told : 100 tales from history to astonish, bewilder and stupefy*. – New York : A & E Television Networks, 2003.

[166] Korn A. *Electrische Fernphotographie und Ähnliches* (2 Auflage). – Leipzig : Verlag von S. Hirzel, 1907.

[167] Берлин Ф. Н. *Терминалы и основные технологии обмена информацией*. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. – 511 с.

[168] Korn A., Nesper E. *Bildrundfunk*. – Berlin, 1926.

[169] Миронов Д. Ф. *Компьютерная графика в дизайне*. – СПб. : БХВ-Петербург, 2012. – 560 с.

[170] Thomé H. *Einheit des Wissens im Zeichen «technischer Existenz» – Max Bense // Die Universität Stuttgart nach 1945 : Geschichte – Entwicklungen – Persönlichkeiten*. (Hrsg.: Norbert Becker, Franz Quarthal). – Ostfildern : Thorbecke, 2004. – S. 345–348.

[171] Eckardt M. *Angewandte Wissenschaftsrevision – Überschneidungen und Parallelen im Schaffen von Max Bense und Georg Klaus // Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft / Humankybernetik*. – 2002. – № 43. – S. 143–152.

[171*] Redmond K. C., Smith T. M. *Project Whirlwind: The history of a Pioneer Computer*. – Bedford, MA : Digital Press, 1980.

[172] Redmond K. C., Smith T. M. *From Whirlwind to MITRE : The R & D Story of The SAGE Air Defense Computer*. – Cambridge, MA : MIT Press, 2000.

[173] Nees G. *Generative Computergraphik*. – Vice Versa, 2006.

[174] Nees G. *Grenzzeichen: Bilder und Gedanken zu einer constraint-orientierten Ästhetik*. – Würzburg : Deutscher Wissenschafts Verlag, 2010.

[175] Forrester J. W. *The Beginning of System Dynamics* (The Banquet Talk) / The International Meeting of the System Dynamics Society. – Stuttgart, Germany, 1989. – July 13.

[176] Enticknap R. G., Schuster E. F. *SAGE Data System Considerations* // AIEE Transaction. – Vol. 77. – Part 1 (1958/January 1959). – P. 824–832.

[177] Jacobs J. F. *The SAGE Air Defense System : A Personal History*. – MITRE Corporation, 1986.

[178] Малюх В. Н. *Введение в современные САПР : курс лекций*. – М. : ДМК Пресс, 2010. – 192 с.

[179] Норенков И. П. *Основы автоматизированного проектирования : учебник для вузов*. – 4-е изд. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. – 430 с.

[180] Schoenberg I. J. *Contributions to the problem of approximation of equidistant data by analytic functions* // Quart. Appl. Math. – 1946. – Vol. 4. – P. 45–99 and 112–141.

[181] De Casteljaud P. *Courbes à poles*. – INPI, 1959.

[182] De Casteljaud P. *Surfaces à poles*. – INPI, 1963.

[183] Bézier P. E. *Définition numérique des courbes et surfaces I* // Automatisme. – XI (1966). – S. 625–632.

[184] Bézier P. E. *Définition numérique des courbes et surfaces II* // Automatisme. – XII (1967). – S. 17–21.

[185] Bézier P. E. *Example of an existing system in the motor industry: the UNISURF system* // Proceedings of the Royal Society of London. – 321 (1971). – P. 207–218.

[186] Bézier P. E. *Mathematical and practical possibilities of UNISURF. Computer Aided Geometric Design*. – Academic Press, 1974.

[187] Coons S. A. *Computer graphics and innovative engineering design – super-sculptor* // Datamation. – 1966. – 12 (5). – P. 32–34.

[188] Coons S. A. *Modification of shape of piecewise curves* // Computer-Aided Design. – 1977. – 9 (3). – P. 178–180.

[189] Vesprille K. J. *Computer Aided Design Applications of the Rational B-spline Approximation Form*. – Syracuse, NY : Syracuse University (February 1975).

[190] Lee E. *The rational Bézier representation for conics* // Geometric Modeling : Algorithms and New Trends (ed. G. Farin). – Philadelphia : SIAM, 1987. – P. 3–19.

[191] Lee E. *Choosing nodes in parametric curve interpolation*. – Computer Aided Design. – 1989. – 21 (6). – P. 136–149. (Presented at the SIAM Applied Geometry Meeting, Albany, NY, 1987.)

[192] Manocha D., Barsky B. A. *Basis Functions for Rational Continuity* // CG International '90 (eds. Chua Taf-seng and Tosiyasu L. Kunii). – Tokyo : Springer-Verlag, 1990. – P. 521–541.

[193] Малозёмов В. Н., Машарский С. М. *Основы дискретного гармонического анализа* : учебное пособие. – СПб. : Лань, 2012. – 304 с.

[194] Newman W. M., Sproull R. F. *Principles of interactive computer graphics*. – McGraw-Hill, 1979. – 541 p.

[195] Whitney J. *Digital Harmony : On the Complementarity of Music and Visual Art*. – Peterborough : N. H. Byte Books / McGraw-Hill, 1980.

[196] Manovich L. *The Language of New Media*. – Cambridge, MA : MIT Press, 2001. – 354 p.

[197] Moritz W. *James Whitney. Articulated Light : Emergence of Abstract Film*. – Boston : Harvard Film Archives, 1996.

[198] Drain A. *Laposky's Lights Make Visual Music* // Symmetry. – Vol. 4. – Issue 3. – August 2012. – P. 32–33.

[199] *The History of Animation* : сайт. URL: <http://scools.spsd.sk.ca/mountroyal/hoffman/Animation/Reference/History.html>

[200] Sutherland I. E. *Sketchpad : A Man-Machine Graphical Communication System*. – New York : Garland Publishers, 1980.

[201] Markoff J. *David Evans, Pioneer in Computer Graphic, Dies at 74* // New York Times. – 1998. – October 12.

[202] Franke H. W. *Computergraphik – Computerkunst*. – München : F. Bruckman Verlag, 1971. – 134 s.

[203] Kitching A. T. *Antics – Graphic Animation By Computer* // Computers & Graphics. – 1977. – Vol. 2. – P. 219–223.

[204] Kitching A. T. *Antics Animation at Swedish Television* // Television (Journal of the Royal Television Society). – 1979. – Mar/Apr. – P. 11–14.

[205] Mandelbrot B. *Fractals : Form, Chance and Dimension*. – San Francisco : W. H. Freeman and Co., 1977. – 365 p.

[206] Barnsley M. F. *Fractals Everywhere*. – New York : Academic Press, 1988. – 394 p.

[207] Кроновер Р. М. *Фракталы и хаос в динамических системах. Основы теории* / пер. с англ., под ред. Т. Э. Кренкеля. – М. : Постмаркет, 2000. – 352 с.

[208] Бобровски Д. *Введение в теорию динамических систем с дискретным временем* / пер. с польск. Ю. Н. Сирота; под ред. В. П. Одинца. – М.–Ижевск : НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», ИКИ, 2006. – 360 с.

[209] Schewe J. *Thomas & John Knoll* // PhotoshopNews. – 2000. – February.

[210] Сергеев А. П., Кущенко С. В. *Основы компьютерной графики. Adobe Photoshop и CorelDRAW – два в одном : самоучитель*. – М. : Диалектика, 2006. – 592 с.

[211] Осипов Л. А. *Язык АНАЛИТИК и его сравнение с языками АЛГОЛ и ФОРТРАН*. – М. : Наука, 1982. – 160 с.

[212] Шубский П. *Хэй, Амиго! История компьютеров Amiga* // Игромания. – 2009. – № 1(136). – С. 134–137.

[213] *Alexander (Sandy) Shafto Douglas 1921–2010* // The Computer Journal. – 2010. – 54(2). – P. 187–188.

[214] Anderson J. *Who Really Invented The Video Game?* // Creative computing video&arcade games. – Spring 1983. – Vol. 1. – No. 1.

[215] Graetz J. M. *The Origin of Spacewar* // Creative Computing, August 1981. – P. 56–67.

[216] Bartle R. *Artificial Intelligence and Computer Games*. – Century Communications, 1985. – 256 p.

[217] Скляревский Е. *Занимательная математика в эпоху хайтека* // Компьютерра. – 2004. – № 43(567).

[218] Пажитнов А. Л. *Тетрис – из России с любовью* // ВВС. – Интервью. – 2004. – 6 июля.

[219] Бакман Р., Дейт К. *Adobe обидела полиграфистов* // Ведомости. – 2007. – № 140 (1914). – 31 июля.

[220] *Martin Newell (computer scientist)* : сайт. URL : [http://en.wikipedia.org/wiki/Martin_Newell_\(computer_scientist\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Martin_Newell_(computer_scientist))

[221] *John Warnock* : сайт. URL : http://en.wikipedia.org/wiki/John_Warnock

[222] *Charles Geschke* : сайт. URL : http://en.wikipedia.org/wiki/Charles_Geschke

[223] Романовский И. В., Столяр С. Е. *Стеки и стековые языки* : учебное пособие. – СПб. : Изд-во ЦПО «Информатизация образования», 2002. – 35 с.

[224] *Alexander Stepanov* : сайт. URL : http://en.wikipedia.org/wiki/Alexander_Stepanov

[225] Цыцулин А. К. *Создатель космического телевидения Пётр Фёдорович Брацлавец* // История информатики и кибернетики в Санкт-Петербурге (Ленинграде) / под общ. ред. чл.-кор. РАН Р. М. Юсупова; сост. М. А. Вус. – СПб. : Наука, 2012. – Вып. 3. – С. 24–31.

[226] Pearsey T. *Modern Trends in Machine Computation* // Supplement to the Australian Journal of Science. – 1949. – X(4). – P. i-xx.

[227] Xenakis I. *Formalized Music: Thought and Mathematic in Composition*. – Hillsdale, NY : Pendragon Pr., 2001.

[228] Дубов М. Э. *Янис Ксенакис: архитектор новейшей музыки*. /Кандидатская диссертация. – М. : МГК им. П. И. Чайковского, 2008. – 232 с.

[229] *Скрябин : Человек, художник, мыслитель* : сборник статей. – М. : ГУК «Мемориальный музей А. Н. Скрябина», 2005. – 220 с.

[230] Белов Г. Г., Горбунова И. Б., Горельченко А. В., Черная М. Ю. *Музыкальный компьютер и синтезатор в педагогическом процессе*. – СПб. : Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2009. – 160 с.

[231] Горбунова И. Б. *Информационные технологии в музыке* : учебное пособие. – СПб. : Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2010. – Том 2. Музыкальные синтезаторы. – 205 с.

[232] Красильников И. М. *Электронное музыкальное творчество в системе художественного образования*. – Дубна : Феникс, 2007. – 496 с.

Именной указатель

А

- Абданк-Абаканович Бруно (Abdank-Abakanowicz Bruno: 1852–1900), 25, 42
- Абрамсон Альберт (Abramson Albert), 348
- Абрамсон Норман (Abramson Norman: 1932), 254, 258, 342
- Авраменко Сергей Александрович (до 1922 г. – после 1963 г.), 8, 54, 58
- Адаменко А., 233
- Адельсон-Вельский Георгий Максимович (р. 1922), 140
- Адян Сергей Иванович (р. 1931), 97, 101, 156
- Азирру Амирру (XIV в. до н. э.), 238
- Айзексон У. (Isaakson Walter: 1952), 237
- Айкен Говард (Aiken Howard Hathaway: 1900–1973), 29, 38, 39
- Аккерман Вильгельм (Ackermann Wilhelm: 1896–1962), 89, 90, 91, 92, 93, 156
- Ал-Бируни (Al-Biruni: 973–1048), 24
- Ал-Джазари (Al-Jasari: 1136–1206), 24
- Александр I (Павлович: 1777–1825), 44
- Александр II (Николаевич: 1818–1881), 45
- Алиханов Абрам Исаакович (1904–1970), 60
- Аллен Пол (Allen Paul Gardner: 1953), 221
- Алмазова Нина Александровна (р. 1971), 336
- Алфёров Жорес Иванович (р. 1930), 347
- Ал-Хорезми (787–850), 65
- Альбертс Г. (Alberts G.), 231
- Альт Ф. Б. (Alt F. B.), 347
- Амонтонс Дж. (Amontons Guillaume: 1663–1705), 239
- Амслер-Лаффон Якоб (Amsler-Laffon Jakob: 1823–1912), 25
- Ананьева Ольга Александровна (р. 1959), 153
- Ананьич Борис Васильевич (р. 1931), 347

Андерсон Гарольд (Anderson Harold W.), 35
Андерсон Дж. (Anderson J.), 354
Андриссен Марк (Andreessen Mark Lovell: 1971), 268
Апокин Игорь Алексеевич (р. 1963), 163
Арендт Эрик (Ahrendt Erik), 201
Аристотель (384–322 гг. до н. э.), 123, 137
Аронсон Милтон (Aronson Milton H.), 167, 231
Ассад А. А. (Assad A. A.), 347
Астрахан М. М. (Astrahan M. M.), 234
Атанасов Джон (Atanasoff John Vincent: 1903–1995), 29, 34, 35, 37, 153
Ахмедов Игорь Музанфарович, 344
Ахмес (XVI век до н. э.), 65
Ахо Альфред (Aho Alfred Vaino: 1941), 291, 292, 348

Б

Базилевский Юрий Яковлевич (1912–1983), 57
Байес Томас (Bayes Thomas: 1702–1763), 149
Байна Эрик (Bina Eric: 1964), 268
Байрон Анна Изабелла (Byron (Milbanke) Anne Isabella: 1792–1860), 21
Байрон Джордж (George Gordon 6th Byron: 1788–1824), 21
Бакман Р., 355
Банах Стефан (Banach Stefan: 1892–1945), 82, 154
Баранов Сергей Николаевич (р. 1950), 176, 231
Барковский А., 203
Барнсли Майкл (Barnsley Michael Fielding: 1946), 323, 354
Барроус Майкл (Burrows Michael: 1963), 203
Барроуз Уильям (Burroughs William: 1857–1898), 27
Барски Брайан А. (Barsky Brian A.), 353
Бартль Ричард (Bartle Richard Allan: 1960), 328, 354
Бахман Чарльз (Bachman Charles William: 1924), 191, 192, 193, 234
Безье Пьер (Bézier Pierre Étienne: 1910–1999), 316, 318, 352
Бейер Ральф (Beyer Ralf), 351

Бекерман Б. (Beckerman B.), 234
Беккер Норберт (Becker Norbert), 351
Беккер Оскар (Becker Oskar: 1889–1964), 312
Белл Александр (Bell Alexander Graham: 1847–1922), 245, 246, 258, 271
Белл М. (Bell Alexander Melville), 245
Белов Геннадий Григорьевич (р. 1939), 355
Бенс (Бензе) Макс (Bense Max: 1910–1990), 311, 312, 351
Берг Аксель Иванович (1893–1979), 60
Берд Мэстон (Beard Maston: 1918), 333, 334
Бергштрёссер И. (Bergströsser Johann: 1732–1812), 239
Берж Клод (Berge Claude Jaques: 1926), 117
Берковский Михаил Аркадьевич, 342
Берлин Ф. Н., 351
Бернайс Пауль (Bernays Paul Isaak: 1888–1977), 126
Берноз Андре (Bernanose André: 1912–2002), 293, 295
Бернерс-Ли Тимоти (Berners-Lee Timothy John: 1955), 265, 266, 267, 343, 344
Бернсайд Уильям (Burnside William: 1852–1927), 101
Бернулли Якоб (Bernoulli Jacob: 1654–1705), 21, 22
Бернхардт Вальтер (Bernhardt Walter), 321
Бернштейн Александр (Bernstein Alex), 139, 160
Берри Д. (Berry G. G.: 1867–1928), 163
Берри Клиффорд (Berry Clifford Edward: 1918–1963), 29, 34, 35, 37
Бессель Фридрих Вильгельм (Bessel Friedrich Wilhelm: 1784–1846), 45
Бёшерменьи Л. (Böszörményi L.), 232
Бигелов Джулиан (Bigelow Julian: 1913–2003), 137, 159
Билас Фрэн (Bilas Fran), 37
Билби Кеннет (Bilby Kenneth M.), 348
Биркгоф Георг (Birkhoff George David: 1884–1944), 143
Битцер Дональд (Bitzer Donald L.: 1934–2009), 287, 288, 289, 348
Блинов Владимир Иванович, 347
Блямтрийт О. (Blumtritt O.), 340

Бобровски Добеслав (Bobrowski Dobiesław: 1927–2012), 124
Бодо Эмиль (Baudot Émil: 1845–1903), 243
Боггс Дэвид (Boggs David R.: 1950), 258, 343
Боголюбов Николай Николаевич (1909–1992), 58, 82
Бойс Раймонд (Boyse Raymond: 1947–1974), 194, 196, 199, 208
Болле Леон (Bolles Leon: 1869–1913), 28
Больман А. Н., 50
Бондаренко М., 235
Бондаренко С., 235
Бонч-Бруевич Михаил Александрович (1888–1940), 296
Борович Лев Афанасьевич, 341
Ботвинник Михаил Моисеевич (1911–1999), 139, 140, 160
Боукер Р. (Bowker R. R.), 161
Боучемп К. (Beauchamp K.), 340
Боше (Босе) Джагадиш Чандра (Boshu Jôgodish Chôndro: 1858–1937),
252, 341, 342
Брайтон Р. (Brayton R.), 232
Брайса Дж. (Brysa J.: 1880–1949), 29
Брандт Федор Федорович (von Brandt Johann Friedrich: 1802–1879),
150
Бранли Эдуард (Branly Édouard Eugène Désiré: 1844–1940), 248, 252,
341
Братко Иван (Bratko Ivan: 1946), 159
Браун Антониус (Braun Antonius: 1686–1728), 14
Браун (Brown), 348
Браун Гордон (Braun Gordon Stanley: 1907–1996), 313
Браун Карл (Braun Karl Ferdinand: 1850–1816), 252, 253, 287, 341
Браун Расселл (Brown Russell Preston: 1907–1996), 325
Браунфельд Питер (Braunfeld Peter G.: 1930), 288, 348
Брауэр Лейтзен Эгберт Ян (Brouwer Luitzen Egbert Jan: 1881–1966),
73, 85
Брацлавец Пётр Фёдорович (1925–1999), 332, 355
Брин Евгения (Краснокутская) (р. 1949), 207

Брин Михаил Израилевич (р. 1948), 207
Брин Сергей (Михайлович) (Brin Sergey: 1973), 206, 207, 208, 235
Бриттон Д. (Britton J. L.), 155
Броди Ж. (Brody J.), 27
Броуди Л. (Brodie L.), 176, 231
Брук Исаак Семенович (1902–1974), 52, 55, 57, 60, 61, 62
Брукман Ф. (Bruckman F.), 353
Брусенцов Николай Петрович (р. 1925), 306
Брюстер Дэвид (Sir Brewster David: 1781–1868), 240
Буль Джордж (Boole George: 1815–1864), 21
Буняковский Виктор Яковлевич (1804–1889), 45, 49, 51
Бурсель Шарль (Bourseul Charles: 1829–1912), 244
Бурцев Всеволод Сергеевич (1927–2005), 60, 153
Бутенко Владимир Иванович (р. 1939), 139
Бухвалова Вера Вацлавна (р. 1948), 8
Бучанан Б. (Buchanan B. G.), 161
Буш Веннивер (Bush Vannevar: 1890–1974), 25, 26, 51, 147
Бэббидж Генри (Babbage Henry), 19
Бэббидж Чарльз (Babbage Charles: 1791–1871), 15, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 29, 38, 152, 166, 172, 244, 301, 348
Бэкус Джон (Backus John Warner: 1924–2007), 165, 169, 170, 173, 189, 231
Бэрэн Моше (Baran Morris: 1884–1979), 257
Бэрэн Пол (Baran Paul: 1926–2011), 257, 342

В

Вайринже Филипп (Vauvinge Philippe: 1684–1746), 14
Ван Ань (Wang An: 1920–1990), 282, 283, 347
Васин Александр Николаевич, 348
Введенская Н. Д., 342
Введенский Борис Алексеевич (1893–1969), 339
Вебер Вильгельм (Weber Wilhelm Eduard: 1804–1891), 241

Вебер Гельмут (Weber Helmut: 1947), 177, 178, 232
Веблен Освальд (Veblen Oswald: 1880–1960), 143
Вебсте Эдвард (Webster Edward), 347
Вейль Герман (Weyl Hermann: 1885–1955), 85, 126, 147, 155
Вейнбергер Питер (Weinberger Peter Jay: 1942), 291, 348
Вейнер Эдмунд (Weiner Edmund), 153
Вейцман Хаим (Weizmann Chaim Azriel: 1874–1952), 40
Велембовская Ксения Михайловна, 348
Вершик Анатолий Моисеевич (р. 1933), 157
Весприлл Кеннет (Vesprille Kenneth J.), 317, 352
Вессель Г. (Wessel H. A.), 339
Виберг Мартин (Wiberg Martin: 1826–1905), 27
Вийнгаарден Адриаан ван (Wijngaarden Adriaan van: 1916–1987), 165,
170, 171, 231
Викс Д. (Weeks D. C.), 346
Вильямс Эмма (Williams Emma T. R.), 212
Винер Лео (Wiener Leo), 142
Винер Норберт (Wiener Norbert: 1894–1964), 142, 143, 144, 159
Виноградов Иван Матвеевич (1891–1983), 56
Вирт Никлаус (Wirth Niklaus Emil: 1934), 177, 178, 179, 180, 232
да Винчи Леонардо (da Vinci Leonardo: 1452–1519), 10
Владимир I Святославич (до 969 г. – 1015), 239
Владимиров Василий Сергеевич (р. 1923), 153
Власова Людмила Васильевна, 350
Воас Роберт (Voas Robert Bruce), 279, 346
Вознесенский Николай Алексеевич (1903–1950), 109
Возняк Стив (Wozniak Stephen Gary: 1950), 222, 223
Володин И. А., 156
Волож Аркадий Юрьевич (р. 1964), 203, 204
Вольфенгаген Вячеслав Эрнстович (р. 1948), 232
Вон Ким (Won Kim), 196, 197, 198
Воробьев Николай Николаевич (1925–1995), 346
Вуд Маршалл (Wood Marshall), 279, 346

Вудс Дон (Woods Don: 1954), 328, 329
Вус Михаил Александрович, 108, 125
Высоцкий Александр Николаевич (1888–1973), 212
Высоцкий Виктор (Александрович) (Vyssotsky Viktor: 1930), 212, 213, 216, 217, 236
Вус Михаил Александрович, 338, 355
Вяльцев Анатолий Николаевич, 341

Г

Гаврилова Татьяна Альбертовна, 159
Гагарин Юрий Алексеевич (1934–1968), 332
Гай де Сент-Дэни (Guy de Saint-Denis), 339
Гайнес Анна (Gaines Ann), 343
Галеев Булат Махмудович (1940–2009), 339, 340
Гаман Генрих (Hamann Henryk: 1864–1936), 28
Гамильтон Ричард (Hamilton Richard: 1943), 98
Гарсиа-Молина Г. (Garcia-Molina H.), 234
Гасс Саул (Сол) (Gass Saul I.: 1926), 279, 280, 281, 346, 347
Гаусс Карл (Gauss Carl: 1777–1855), 241
Гафни Джон (Gaffney John), 329
Геддес Патрик (Geddes Patrick: 1854–1932), 341
Гедель Курт (Gödel Kurt: 1906–1978), 74, 79, 81, 88, 124, 126, 127, 154
Гейл Дэвид (Gale David: 1921–2008), 347
Гейнесфорд М. (de Gaynesford M.), 157
Гейсберг Самуэль (Семён) П. (Geisberg Samuel P.), 318
Гейтинг Аренд (Heyting Arend: 1898–1980), 75, 155
Гейтс Билл (Gates William Henry III: 1955), 221, 237
Гельмгольц Герман (von Helmholtz Hermann Ludwig Ferdinand: 1821–1894), 247
Гендерсон Г. (Henderson H.), 159
Генри Джозеф (Henry Joseph: 1797–1878), 29
Герасимов Вадим (р. 1968), 329

Генцен Герхард (Gentzen Gerhard Karl: 1909–1945), 126, 159
Герман Иоганн (Hermann Johann Martin), 24
Геродот (484–425 гг. до н. э.), 238
Герстен Х. Л. (Gersten Christian Ludwig: 1701–1762), 27
Герфайд Джордж (Gerpheide George E.), 277
Герц Густав (Hertz Gustav Ferdinand: 1827–1914), 247
Герц Генрих (Hertz Heinrich Rudolf: 1857–1894), 247, 250, 251, 341
Гершгорин Сергей Аронович (1901–1933), 51
Гершель Джон (Herschel Frederick John: 1792–1871), 22
Гершель Уильям (Herschel Fridrich Wilhelm: 1738–1822), 22
Гешке Чарльз (Geschke Charles: 1939), 329, 330, 331, 355
Гивант С. (Givant S.), 158
Гиёри Шильвия (Györi Szilvia), 342
Гиёрфи Лашло (Györfi László: 1947), 342
Гильберт Давид (Hilbert David: 1862–1943), 3, 33, 89, 91, 92, 103, 110, 143, 157
Гиппарх (Hipparchus: 190–120 гг. до н. э.), 23
Гирбарт Вернер (Girbardt Werner), 49
Глебкин Владимир Владиславович, 349
Глушков Виктор Михайлович (1923–1982), 62, 63, 325
Гнеденко Борис Владимирович (1912–1995), 54
Говард Роберт (Howard Robert: 1923), 283
Говарт Д. (Howarth D. J.), 214
Годдард Роберт (Goddard Robert Hutchings: 1882–1945), 207
Голубицкий Павел Михайлович (1845–1911), 246
Гольден Б. Л. (Golden B. L.), 347
Гольдштейн Адель (Goldstein Adel), 38
Гольдштейн Герман (Goldstein Herman), 38
Гопкинс Губерт (Hopkins Hubert H.), 28
Горбунова Ирина Борисовна, 355, 356
Гордон Дэниэл (Gordon Daniel), 300
Горельченко Алексей Викторович, 355
Горин Ефим Евграфович (1881–1951), 74, 75

Горлицкая Софья Израилевна (р. 1947), 134, 160
Горьков Лев И., 347
Гракова-Свиридова Мариамна Борисовна (1924–2007), 339
Грампф Ф. Т. (Grampp F. T.), 236
Грант Джордж (Grant George: 1849–1917), 27
Грассман Герман Гюнтер (Grassmann Hermann Günter: 1809–1877), 126, 158
Грегори Р. Ф. (Gregory R. F.), 341
Грей Илайша (Gray Elisha: 1835–1901), 245, 246
Грец Мартин (Graetz Martin), 327, 354
Григорьян Ашот Тигранович (1910–1997), 341
Грийе де Ровен Рене (Grillet de Roven René) (конец XVII века), 13
Гриффитс П. (Griffiths P.), 158
Грудин Джонатан (Grudin Jonathan), 274, 345
Грэй Мэтью (Gray Matthew), 202
Грэхем И. (Graham Ian), 233
Губайдулина София Асгатовна (р. 1931), 337
Гук Роберт (Hook Robert: 1635–1705), 239
Гумбольдт Александр Ф. В. (von Humboldt Alexander Friedrich Wilhelm: 1769–1859), 242
Гутенмахер Лев Израилевич (1908–1981), 51
Гуткнехт Юрг (Gutknecht Jürg: 1949), 232
Гэюо Чу (Ge-Yao Chu: 1918–2011), 282, 347
Гюнтер Эдмунд (Gunter Edmund: 1581–1626), 11

Д

Даггетт М. (Daggett M. M.), 214
Далей Р. (Daley R. C.), 214
Даль Оле-Йохан (Dahl Ole-Johan: 1931–2002), 186, 187, 233
Данилевский Игорь Николаевич (р. 1953), 339
Данмур Д. А. (Dunmur D. A.), 348
Данциг Джорж (Dantzig George Bernard: 1914–2005), 279, 346

Дарвин Г. (Darwen H.), 234
Дарвин Чарльз (Darwin Charles Robert: 1809–1882), 161, 213
Дашевский Лев Наумович (1916–1988), 153
Дейкстра Эдсгер Вибе (Dijkstra Edsger Wybe: 1930–2002), 215, 217, 218, 236
Дейт Кристофер (Date Christopher J.: 1941), 196, 234
Деламейн Ричард (Delamain Richard: 1600–1644), 11
Демидов Павел Николаевич (1798–1840), 44, 45, 48, 153
Деникин Антон Иванович (1872–1947), 212
Деннис Ш. (Dennis Sh.), 158
Деннистоун Алестер (Denniston Alastair), 32
Депман Иван Яковлевич (1885–1970), 152
Детлефсен М. (Detlefsen M.), 153
Джандали Абдулфатт (Jandali Abdulfattach), 222
Джекобс Д. (Jacobs J. F.), 352
Джексон А. (Jackson A. S.), 105, 153
Дженнингс Бэтти (Jennings Betti), 37
Джефферсон Томас (Jefferson Thomas: 1743–1826), 32
Джобс Стив (Jobs Steven Paul: 1955–2011), 222, 237, 285
Джон (святой) [Фишер] (Fisher John: 1469–1535), 278
Джонсон Мартин (Johnson Martin), 300
Джонсон Рейнольд (Johnson Reynold B.: 1906–1998), 191, 234
Джонстон Ричард С. (Johnston Richard S.), 349
Дикинсон Г. (Dickinson H. W.), 26
Дильхац Д.-М. (Dilhac J.-M.), 341
Дини Улисс (Dini Ulisse: 1845–1918), 87
Дирихле Петр Густав (Dirichlet Peter Gustav: 1805–1859), 143
Дмитриев Павел Павлович, 344
Дородницын Анатолий Алексеевич (1910–1994), 62
Досон Д. (Dawson J.), 155
Драгалин Альберт Григорьевич (1941–1998), 154
Дрексель Энтони (Drexel Anthony Joseph: 1826–1893), 257
Дрэйн Алисон (Drain Alison), 353

Дубинина Л. Г., 231
Дубов Михаил Эмильевич (р. 1966), 355
Дуглас Александр (Douglas Alexander Shafto «Sandy»: 1921–2010),
325, 354
Дэвис Дональд (Davis Donald Watts: 1924–2000), 259, 260, 343
Дэвис Мартин (Davis Martin: 1928), 103, 104, 105, 106, 155
Дэй Джереми (Day Jeremi), 241
Дэйт Кристофер (Date Christopher J.: 1941), 355
Дэн Макс (Dehn Max: 1878–1952), 101

Е

Езерский Федор Венедиктович (1836–1916), 51
Екатерина II (Екатерина Алексеевна: 1729–1796) (= София Фредерика
Августа Ангальт-Цербстская: Sophie-Auguste-Frederike von Anhalt-
Zerbst-Dornburg), 239
Ермолаев Игорь Петрович (р. 1932), 339
Ершов Андрей Петрович (1931–1988), 273, 274, 345

Ё

Ёшинага Кацуо (Yoshinaga Kazuo), 298, 349

Ж

Жаккар Жозеф Мари (Jacquard Joseph Marie: 1752–1834), 15, 16, 244
Жёлудев Николай Иванович (Zheludev Nikolay: 1956), 349
Жилевич И. И., 350
Жиль Джеймс (Gillies James), 344
Жимулёв И. Ф., 231
Жордан Мари Камиль (Jordan Marie Camille: 1838–1922), 25
Жордэн Н. (Jordan N.), 275, 345

З

- Забле Д. Л. (Zable J. L.), 350
Зайцев Валентин Фёдорович (р. 1945), 8
Залгаллер Виктор Абрамович (р. 1920), 34, 153
Захаров Валерий Николаевич (1934–2005), 338
Звенигородский Геннадий Анатольевич (1952–1954), 345
Зворыкин Владимир Козьмич (Zvorykin Vladimir: 1888–1982), 287, 288, 348
Зейферт Герберт (Seifert Herbert Karl Johannes: 1907–1996), 97
Зельцер Р. (Selzer R.), 235
Зёммеринг Самуэль (Sömmering Samuel Thomas: 1755–1830), 240, 242, 340
Зубков С. В., 231
Зыгальски Генрих (Zygalski Henryk: 1908–1978), 32

И

- Иванов Борис Александрович (1946–1996), 344
Иванов Валерий, 319
Иванцевич Наталья Вячеславовна, 344
Ингаллс Дэн (Ingalls Daniel Henry Holmes, Jr.), 188
Инце Д. С. (Ince D. S.), 155
Иоффе Абрам Фёдорович (Файвиш) (1880–1960), 296
Иоффе Г. З. (Ioffe H.), 49
Исаков Валерьян Николаевич (р. 1946), 101, 152, 154
Исакова Виктория Валерьяновна (р. 1969), 154
Итин Л. А., 341

Й

- Йенсен К., 232

К

- Каган Борис Моисеевич (1918–2009), 61
Казелли Джованни (Caselli Giovanni: 1815–1891), 307, 309, 310
Кайо Роберт (Cailliau Robert: 1947), 266, 267, 344
Кальмар Лашло (Kalmar László: 1905–1976), 92
де Кальмар Тома (de Calmar Tomá), 16
Каменский Андрей Васильевич (1843–?), 340
Камнитцерс Питер (Kamnitzers Peter: 1921–1998), 322
Кан Роберт (Kahn Robert Elliot: 1938), 263, 264, 343
Канторович Леонид Витальевич (1912–1986), 56, 61, 145, 280, 281
Капертон Харель (Caperton Idit Harel: 1958), 163, 165
Карлсон Честер (Carlson Chester Floyd: 1906–1968), 304, 306, 350
Карно Лазар (Carnot Lazare: 1753–1823), 23
Карцев Михаил Александрович (1923–1983), 60
де Кастельжо Поль (de Casteljaou Paul: 1930), 316, 318, 352
Кастэн К. (Castainge C.), 101
Катания Базилио (Catania Basilio: 1926–2010), 340
Квартал Франц (Quarthal Franz), 351
Кейслер Джером (Keisler Jerome Howard: 1936), 112
Келдыш Мстислав Всеволодович (1911–1978), 58, 317
Кемени Джон (Kemeny John George: 1926–1992), 163
Кеплер Иоганн (Kepler Johann: 1571–1630), 12
Керниган Брайан (Kernighan Brian: 1942), 291, 292, 348
Кий Евгений Александрович (р. 1979), 339
Килбарн Т. (Kilburn T.), 214
Кип Ирвин, 231
Кир II Великий – персидский царь (правил в 559–530 гг. до н. э.), 238
Кирк Р. (Kirk R.), 19
Киров (Костриков) Сергей Миронович (1886–1934), 280
Кирхгоф Густав (Kirchhoff Gustav Robert: 1824–1887), 247
Кирхер Атанасиус (Kircher Athanasius: 1602–1680), 26
Кирютенко Ю. А., 233

Кискальт Е. (Kiebkalt E.), 339
Кислицин С. С., 347
Китов Анатолий Иванович (1920–2005), 258
Китчинг Алан (Kitching Alan), 319, 323, 353
Кларк Джеймс (Clark James H.), 268, 269, 344
Кларк Уэсли (Clark Wesley Allison: 1927), 261, 275, 346
Клаус Георг (Klaus Georg), 351
Клей Л. Д. (Clay Lavinia D.), 98
Клей Л. Т. (Clay Landon T.), 98
Клейн Мартин (Klein Martin Leroy: 1924), 168, 231
Клейнрок Леонард (Kleinrock Leonard: 1934), 256, 263, 342
Клини Стивен Коул (Kleene Stephen Cole: 1909–1994), 3, 67, 72, 84, 86, 88, 90, 91, 156, 164, 230
Клиппингер Ричард (Clippinger Richard Frederick: 1913–1997), 36
Кляйн Чарли (Kline Charley), 256
Кнокс Дилвин (Knox Dillwin: 1884–1943), 32
Кноль Джон (Knoll John: 1962), 324, 354
Кноль Томас (Knoll Thomas), 324, 354
Кнут Дональд (Knuth Donald Ervin: 1938), 161, 162, 233
Кобаяши М. (Kobayashi M.), 238
Ковальски Р. А. (Kowalski R. A.), 233
Кодд Эдгар («Тэд») (Codd Edgar Frank: 1923–2003), 194, 195, 197, 199, 201, 208, 234
Колисниченко Денис Николаевич, 235
Коллинс Джонатан (Collins Jonathan), 285
Коллэу Р. (Cailliau R.), 344
Колмогоров Андрей Николаевич (1903–1987), 73, 108, 110, 117, 209
Коломбини Дж. (Colombini G.), 29
Кольман Э., 153
Кольмерауер Ален (Colmerauer Alain: 1941), 186, 233
Комри Лесли (Comrie Leslie J.: 1893–1950), 28
Кондон Джозеф (Condon Joseph), 140, 181, 232
Коннер Финис (Conner Finis), 284

Константинов Николай Николаевич (р. 1932), 319
Корбато Фернандо (Corbató Fernando Jose: 1926), 214, 217, 236
Корбюзье Ле (Corbusier Le: 1887–1965), 335
Корн Артур (Korn Arthur: 1870–1945), 307, 308, 309, 351
Корнеи Отто (Kornei Otto: 1903–1993), 304, 350
Корнелл Г. (Kornell G.), 233
Королёв Сергей Павлович (1907–1966), 301
Корсаков Семен Николаевич (1787–1853), 150
Косовский Николай Кириллович (р. 1945), 102
Костер Мартийн (Koster Martijn), 202, 235
Котенко Виталий Павлович (р. 1934), 338
Коток Алан (Kotok Alan: 1941–2006), 140
Коульсон (Coulson), 348
Коши Огюстен Луи (Cauchy Augustin Louis: 1789–1857), 45
Красильников Игорь Михайлович (р. 1952), 356
Крейн Селим Григорьевич (1917–1999), 54
Крелль Август (Crelle August Leopold: 1780–1855), 45
Кренкель Теодор Эрнстович (р. 1940), 354
Криницкий Николай Андреевич (1914–1983), 165, 230, 258
Кристиансен Т. (Christiansen Tom), 234
Кржижановский Георгий Максимилианович (1872–1959), 57
Кроновер Ричард М. (Crownover Richard M.: 19??–2004), 354
Кроутер Уильям (Crowther William: 1936), 328, 329
Крупская Надежда Константиновна (1869–1939), 330
Крэй Сеймур (Cray Seymour Roger: 1925–1996), 226
Крюков Виталий Иванович, 206
Крюков Дмитрий Витальевич (1960–2009), 203, 206, 235
Крылов Алексей Николаевич (1863–1945), 25, 42
Ксенакис Яннис (Xenakis Iannis = Ξενάκης Ιάννης (греч.): 1922–2001), 335, 336, 355
Кузнецов В. Е., 156
Кузнецов И. В., 340
Кузнецова И. Н., 160

Кук Стивен (Cook Stephen: 1939), 116
Кулибин Иван Петрович (1735–1818), 239, 339
Куммер Генрих (Kummer Heinrich Gotthelf: 1809–1880), 43, 49, 153, 162, 340
Куммер Готхельф (Kummer Gotthelf Heinrich: 1774–1857), 48
Кунг-Фи (X век), 244
Кунс Стивен (Coons Steven Anson: 1912–1979), 317, 352
Купманс Тьяллинг (Koormans Tjalling: 1910–1985), 146
Купфер Адольф Яковлевич (Kupffer Adolph Theodor: 1799–1865), 150
Курант Рихард (Courant Richard: 1888–1972), 98
Курило Фридрих (Kurylo Friedrich: 1901–1987), 341
Курош Александр Геннадьевич (1908–1971), 157
Куртц Томас (Kurtz Tomas Eugen: 1928), 163
Курчатов Игорь Васильевич (1903–1960), 57
Кучуков А., 233
Кущенко С. В., 354
Кэй Алан (Kay Alan: 1940), 188
Кэмпбел-Келли М. (Campbel-Kelly M.), 231

Л

Лавлейс Ада (Lovelace (Byron) Ada: 1815–1862), 21, 22, 166, 223
Лавренко Виктор Сергеевич (р. 1976), 204
Лаврентьев Михаил Алексеевич (1900–1980), 56, 58
Ладгейт Перси (Ludgate Percy: 1883–1922), 28
Лазер Х. (Lazer C.), 158
Лакхэм Д. (Luckham D.), 232
Ландау Эдвард (Landau Edward Edmund Georg Hermann: 1877–1938), 143
Ланина Э. П., 152, 350
Лаплас Пьер Симон (Laplace Pierre Simon: 1749–1827), 51
Лапоски Бен (Laposki Ben Francis: 1914–2000), 321, 353
Лачинов Дмитрий Александрович (1842–1902), 250, 251, 341

Лебедев В. И., 339
Лебедев Сергей Алексеевич (1902–1974), 52, 53, 55, 58, 59, 62, 226
Лебединский Владимир Константинович (1868–1940), 296, 349
Леви Стив (Levy Steven: 1951), 276
Левин Виталий Ильич (р. 1936), 338
Левин Леонид Анатольевич (р. 1948), 116
Ледерберг Д. (Lederberg J.), 130
Лежандр Адриен (Legendre Adrien-Marie: 1752–1833), 23
Лейбниц Готфрид Вильгельм (Leibniz Gottfried Wilhelm: 1646–1716),
12, 13, 15, 28, 43, 155
Лейпяля Тимо (Leipälä Timo), 49
Леман Отто (Lehmann Otto: 1855–1922), 288
Ленат Дуг (Lenat Douglas: 1950), 142, 162
Ленин (Владимир Ильич Ульянов: 1870–1924), 100
Леонов Валерий Павлович (р. 1942), 347
Леонтьев Василий Васильевич (Leontef Wassily Wassilyevich: 1905–
1999), 37, 61, 146
Леопольд Якоб (Leopold Jacob: 1674–1727), 14
Лепэн Жан (Lépine Jean-Antoine: 1720–1814), 27
Лесечко Михаил Авксентьевич (1909–1984), 56
Лесников Сергей Владимирович (р. 1959), 8, 164
Лефшец Соломон (Lefschetz Solomon: 1884–1972), 119, 158
Лещневски Станислав (Leśniewski Stanisław: 1886–1939), 111
Ли К. (Lee H.), 350
Ли Юджин (Lee Eugene), 318, 353
Ливеровский Александр, 153
Ликлидер Джозеф (Lickluder Joseph Carl Robnett: 1915–1990), 275, 277,
345, 346
Линден Юджин (Linden Eugen), 117
Линкольн Авраам (Lincoln Abraham: 1809–1865), 260, 275
Литвин Ф. Д., 160
Лихтенбергер Уильям (Lichtenberger William), 288, 348
Лихтерман Рут (Lichterman Ruth), 37

Ловягин Юрий Никитич (р. 1958), 87, 155
Лодж Оливер (Lodge Oliver Joseph: 1851–1940), 249, 250, 252, 341
Ломоносов Михаил Васильевич (1711–1765), 43, 50, 64, 100, 117, 171, 207, 329, 330
Лори Р. (Lorie R. A.), 234
Лорьер Жан-Луи (Laurière Jean-Louis), 150, 153
Лосев Олег Владимирович (1903–1942), 296, 297, 349
Лузин Николай Николаевич (1883–1950), 171
Луис Ю. (Louis E. J.), 349
Лукашевич Ян (Łukasiewicz Jan: 1878–1956), 151
Лукьянцев Николай Фёдорович, 349
Луотонен Ари (Luotonen Ari: 1969), 344
Людовик XIV (Louis XIV: 1638–1715), 13
Люмис Махлон (Loomis Mahlon: 1826–1886), 246, 341
Лысаков Сергей Владимирович (р. 1957), 206
Лысенко Трофим Денисович (1898–1976), 172
Ляпунов Алексей Андреевич (1911–1973), 60, 166, 169, 171, 230, 231

М

Майстров Леонид Ефимович, 152
Макгенри Р. (McHenry R.), 341
Макдиармид Алан (MacDiarmid Alan Graham: 1927–2007), 294, 297, 349
Макилрой Даг (McIlroy Douglas M.: 1932), 213, 220, 236
Маккалок Уоррен (McCulloch Warren: 1898–1969), 137, 143, 160
Маккарти Джозеф (McCarthy Joseph: 1908–1957), 194
Маккарти Джон (McCarthy John: 1927–2011), 119, 120, 132, 140, 158, 183, 232
Маккахилл Марк (McCahill Mark P.: 1956), 267, 344
Маккей Эрнест Джон (Mackay Ernest John Henry: 1880–1943), 339
Макналти Кэй (McNulty Kay), 37
Максвелл Джеймс (Maxwell James Clerk: 1831–1879), 247

Малинг К. (Maling K.), 232
Малиновский Борис Николаевич (р. 1921), 62, 63, 162, 237
Малозёмов Василий Николаевич (р. 1939), 318, 353
Малюх Владимир Николаевич (1966–2013), 352
Мальцев Анатолий Иванович (1909–1967), 104, 105, 108, 109, 157
Мандельброт Бенуа (Mandelbrot Benoit B.: 1924–2010), 320, 354
Манес С. (Manes S.), 237
Манович Лев (Захарович) (Manovich Lev: 1960), 353
Маноха Динеш (Manocha Dinesh), 353
Манро Д. (Munro J.), 339
Марков Джон (Markoff John: 1949), 347, 353
Маркони Гульельмо (Marconi Guglielmo Marchese: 1874–1937), 249, 250, 251, 252, 295, 341
Маржуэн Ж. (Marguin J.), 153
Марков Андрей Андреевич (ст.) (1856–1922), 84
Марков Андрей Андреевич (мл.) (1903–1979), 3, 67, 73, 79, 84, 85, 86, 90, 94, 96, 97, 99, 100, 103, 155, 156
Маслов Сергей Юрьевич (1939–1982), 104, 105, 109, 110, 142, 157, 185, 233
Масуока Фуджио (Masuoka Fudjio: 1943), 309
Матиясевич Юрий Владимирович (р. 1947), 104, 105, 108, 109, 118, 157
Матюхин Николай Яковлевич (1927–1984), 55, 60, 61
Махун Сергей (р. 1954), 350
Машарский Сергей Михайлович (р. 1976), 353
Медникова Э. М., 152
Мейер Альберт (Meyer Albert R.: 1941), 117
Мелвилл Чарльз Дэвид (Melville Charles David), 349
Менабреа Луиджи (Menabrea Federico Luigi Conte: 1809–1896), 21, 66
Менделеев Дмитрий Иванович (1834–1907), 100
Менцлер-Тротт Е. (Menzler-Trott Eckart), 159
Мерсенн Марен (Mersenne Marin: 1588–1648), 93
Мерфи Глен (Murphy Glen), 34

Меткальф Роберт (Metkalf Robert Melancton: 1946), 258, 300, 343
Меуччи Антонио (Meucci Antonio: 1808–1889), 245, 271, 340
Милнер Робин (Milner Arthur John Robin: 1934–2010), 185, 233
Мильк И. Э. (Milk I. E.), 48
Минахин Виктор, 320
Мински Генри (Minsky Henry), 132
Мински Мэрвин (Minski Marvin: 1927), 119, 131, 132, 133, 159
Минц Григорий Ефроимович (Mints Grigori: 1929), 157
Миронов Дмитрий Феликсович, 351
Миронов Георгий Акимович (1930–2010), 230
Мирхед Александр (Muirhead Alexander: 1848–1920), 249
Михайлов Виктор Александрович (1909– ?), 342
Михалков Никита Сергеевич (р. 1945), 324
Мокк Оуэн (Mock Owen R.), 211, 212, 236
Молленхоф Х. (Mollenhoff C. R.), 153
Монахов Вадим Валерьевич, 233
Монро Джо (Monroe Joe R.: 1883–1937), 28, 34
Монье Луи (Monier Louis: 1956), 203
Морган Гарри (Morgan Harry C.), 167, 231
де Морган Огастес (de Morgan Augustus: 1806–1871), 21
Моргенштерн Оскар (Morgenstern Oskar: 1902–1977), 83, 155
Морзе Дж. (Morse Jedidiach: 1761–1826), 241
Морзе Самуэль (Morse Samuel Finley Breese: 1791–1872), 241, 244, 340
Мориц Уильям (Moritz William), 353
Морленд Самуэль (Morland Samuel: 1625–1695), 26
Морозов Ю. И., 243
Морозова Елена Александровна, 157
Моррис Роберт (старший) (Morris Robert, Sr.: 1932–2011), 213, 236
Моррис Роберт (младший) (Morris Tappan Robert: 1965), 213
Моррисон Чарльз (Morrison Charles), 240, 339
Мостовски Анджей (Mostowski Andrzej: 1913–1975), 93, 112
Мотвани Р. (Motvani Rajeev: 1962–2009), 158
Моучли Джон (Mauchly John: 1907–1980), 35, 36, 37, 38, 40, 257, 273

Мур Дороти (Moor Dorothy), 234
Мур Чарльз (Moor Charles H.: 1938), 174, 175
Мюллер Иоганн (Müller Helfrich Johann: 1746–1830), 15, 22
Мюррог Б. (Myrhaug B.), 233
Мюррей Ч. (Murray Ch. J.), 237

Н

Нагорный Николай Макарович (1928–2007), 156
Наке Фридер (Nake Frieder: 1938), 312
Наполеон I Бонапарт (Napoleone Bonaparte: 1769–1821), 242
Натансон Исидор Павлович (1906–1964), 100
Наур П. (Naur Peter: 1928), 189
Негри Г. (Negri G.), 347
даль Негро Сальваторе (dal Negro Salvatore: 1768–1839), 29
Негропонте Джон (Negroponte John Dimitri: 1939), 317
Негропонте Николас (Negroponte Nicholas: 1943), 317
Нейлор Крис (Naylor Kris), 149, 161
фон Нейман Джон (Neumann John (Janos) von: 1903–1957), 29, 31, 38, 40, 76, 78, 79, 81, 82, 83, 154, 155
Нелсен Хенрик Фрыстык (Nielsen Henrik Frystyk: 1969), 344
Нельсон Тед (Nelson Theodor Holm: 1937), 189
Немировский Евгений Л., 350
Непер Джон (Neper John: 1550–1617), 11
Неспер Юджин (Nesper Eugen: 1879–1961), 309, 351
Нидхем Р. М. (Needham R. M.), 343
Николай I (Николай Павлович Романов: 1796–1855), 50
Николенко Сергей Игоревич (р. 1984), 158
Николов Румен Василев (р. 1959), 230
Нис Георг (Nees Georg: 1926), 311, 312, 313, 351
Нобель Альфред (Nobel Alfred: 1833–1896), 145, 146
Нобили Леопольдо (Nobili Leopoldo: 1784–1835), 30
Новиков Михаил Афанасьевич (р. 1931), 349

Новиков Петр Сергеевич (Novikoff P.: 1901–1975), 97, 99, 100, 101, 156
Ноздрунов Николай Романович (р. 1950), 176, 231
Нолл Майкл (Noll A. Michael: 1939), 312
Норенков Игорь Петрович (р. 1933), 352
Норман Дональд Артур (р. 1935), 347
Нортон Питер (Norton Peter: 1943), 292, 293, 348
Нюгорд Кристен (Nygaard Kristen: 1926–2002), 186, 233
Ньюэлл Ален (Newell Allen: 1927–1992), 138, 355
Ньюмэн Макс (Newman Max: 1887–1984), 33
Ньюэлл Мартин (Newell Martin), 330
Ньюэлл Пол (Newell Paul), 327
Ньюмэн Уильям (Newman William M.), 353

О

Одинец Владимир Петрович (Odyniec Włodzimierz: 1945), 2, 8, 48, 101, 141, 152, 153, 155, 157, 160, 230, 338, 340, 345, 354
Однер Теофил (Odhner Willgodt Theophil: 1845–1905), 16, 17, 28, 42, 50
О’Коннор Д. (O’Connor J. J.), 156
Олег – древнерусский князь (?–912), 239
Ольга (княгиня) (не позднее 925–969), 190
Оппенгеймер Роберт (Oppenheimer Julius Robert: 1904–1967), 145
Орвант Д. (Orwant Ion), 234
Оре Ø. (Ore Øystein: 1899–1968), 273
Осипов Лев Александрович, 354
Остриан Г. (Austrian G. D.), 28
Островский А. М. (Ostrowski A. M.), 344
Остроградский Михаил Васильевич (1801–1861), 150
Остроумов Борис Андреевич (1887–1979), 349
Отред Уильям (Oughtred William: 1574–1660), 11
Оуэн Дэвид (Owen David: 1955), 350
Оуэн Эдвардс (Owen Edwards), 344

П

- Павлов Иван Петрович (1859–1936), 296
- Пажитнов Алексей Леонидович (р. 1956), 328, 329, 355
- Паймент Саймон (Pagement Simone), 344
- Пайн Р. (Payne R. W.), 214
- Панини (Pāṇini: VI век н. э.), 165
- Парк Д. (Park D.), 232
- фон Паррет Иван Егорович (von Parret Johann Jakob Friedrich Wilhelm: 1791–1841), 150
- Парфёнов Владимир Глебович (р. 1949), 8
- Паскаль Блез (Pascal Blaise: 1623–1662), 12, 177, 232
- Паскаль Этьен (Pascal Étienne: 1588–1651), 12
- Пасторе Г. (Pastore G.), 152
- Патрик Роберт (Patrick Robert L.), 211, 212, 236
- Пауэрс Джеймс (Powers James: 1870–1927), 28
- Пеано Джузеппе (Peano Giuseppe: 1858–1932), 87, 125, 126, 158
- Певный Александр Борисович (р. 1947), 8
- Пейдж Ларри (Page Laurence: 1973), 205, 206, 208, 235
- Пейперт Сеймур (Papert Seymour: 1928), 132, 134, 137, 159, 161, 163, 184
- Первин Юрий Абрамович (р. 1935), 345
- Перельман Григорий Яковлевич (р. 1966), 97, 98, 117
- Перов Александр Иванович (р. 1951), 344
- Перро Клод (Perraut Claude: 1613–1688), 26,
- Перро Шарль (Perraut Charle: 1628–1703), 26
- Петер (Политцер) Ружа (Péter Rózsa: 1905–1977), 89, 90, 92, 93, 156
- Петерсон Майк (Peterson Michael), 184
- Петерсон Тим (Paterson Tim: 1956), 221
- Петраков Иван Семенович, 157
- Петров Николай Николаевич (1939–2012), 8
- Пиаже Жан (Piaget Jean William Fritz: 1896–1980), 134
- Пилсудский Юзеф (Piłsudski Józeph Klemens: 1867–1935), 112

Пинаев А. Б., 344
Пирси Тревор (Pearsey Trevor: 1919–1998), 333, 334, 355
Питтс Уолтер (Pitts Walter: 1923–1969), 137, 143, 160
Пифагор (572–497 гг. до н. э.), 65
Платон (427–347 гг. до н. э.), 123
Подловченко Римма Ивановна (р. 1931), 338
Полени Джованни (Poleni Giovanni: 1683–1761), 13
Полотовский Григорий Михайлович (р. 1947), 8, 54
Помбергер Г. (Pomberger G.), 232
Пономаренко Владимир, 320
Попов Александр Степанович (1859–1906), 249, 250, 251, 252, 341
Порт О. (Port O.), 342
Поспелов Дмитрий Александрович (р. 1932), 338
Поспелов Михаил Владимирович (р. 1973), 8, 155, 157
Пост Эмиль (Post Emil Leon: 1897–1954), 3, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 74, 75, 76, 78, 79, 80, 88, 96, 99, 105, 123, 124, 125, 154, 155, 160, 191
Прайс Дерек (Price Derek J. de Solla), 10, 152
Пройдаков Эдуард Михайлович (р. 1948), 153
де Прони Гаспар (de Prony Gaspard: 1755–1839), 23
Проссер Ричард (Prosser Richard B.), 339
Пташне Марк (Ptashne Mark), 158
Пржиялковский Виктор Владимирович (р. 1930), 174
Пуанкаре Анри (Poincaré Jules Henry: 1854–1912), 98, 117
Путнам Рива (Putnam Riva), 107
Путнам Самуэль (Putnam Samuel), 107
Путнам Хилари (Putnam Hilari: 1926), 104, 105, 106, 107, 108, 157
Пярнпуу Аарне Антонович (1938–2004), 230

Р

Радемахер Ганс Адольф (Rademacher Hans Adolf: 1892–1969), 37
Радовский Моисей Израилевич (1903–1964), 153
Райли Вера (Riley Vera), 280, 347

Райнитцер Фридрих (Reinitzer Friedrich Richard: 1857–1927), 288
Райс Иоганн Филипп (Reis Johann Philipp: 1834–1874), 244, 245, 340
Рамеев Башир Искандерович (1918–1994), 52, 55, 57, 61, 62, 306
Рамзес Виктор Борисович (1940–1987), 340
Раскин Аза (Raskin Aza: 1984), 285
Раскин Джеф (Raskin Jef: 1943–2005), 284, 285, 344
Рассел Бертран (Russell Bertrand Artur William: 1872–1970), 164
Рассел Стив (Russel Stephen: 1937), 327
Ратер Элизабет (Rather Elizabeth), 175
Раунд Генри Джозеф (Round Henry Joseph: 1881–1966), 285, 349
Редмонд К. (Redmond K. C.), 351
Реевски Мариан (Rejewski Marian: 1905–1980), 32
Рей Д. (Ray D. S.), 235
Рей Е. (Ray E. J.), 235
Рейган Рональд (Reagan Ronald Wilson: 1911–2004), 191
Рейзер М. (Reiser M.), 232
Ремус Д. (Remus D.), 92
Ржонсницкий Борис Николаевич (1909–1982), 341
Риги Аугусто (Righi Augusto: 1850–1921), 251
Ризье Фанни (Resier Fannie), 132
Риссанен Йорма (Rissanen Jorma: 1932), 209
Ритчи А. (Ritchie Alistair E.), 181
Ритчи Денис (Ritchie Dennis MacAlistair: 1941–2011), 178, 181, 182, 219, 232
Ричардс Мартин (Richards Martin: 1940), 178, 232
Риччи Грегорио (Ricci-Curbastro Gregorio: 1853–1925), 98
Роббинс Арнольд (Robbins Arnold (Aharon)), 232
Робертс Лоуренс (Roberts Lawrence Gilman: 1937), 255, 260, 261, 317, 342, 343
Робертс М. (Roberts M.), 160
Робертсон Е. (Robertson E. F.), 156
Робинсон Абрахам (Robinson Abraham: 1918–1974), 155
Робинсон Джон (Robinson John Alan: 1930), 185

Робинсон (Баумэн) Джулия (Robinson (Bowman) Julia: 1919–1985), 93, 104, 105, 107, 108, 112, 157
Робинсон Прентис (Robinson Prentice), 283
Робинсон Рафаэль (Robinson Raphael Mitchel: 1911–1995), 89, 90, 93, 107
Родченко С. С., 342
Розенбаум П. (Rosenbaum P.), 342
Розенберг Рональд (Rosenberg Ronald), 347
Розенблат Артуро (Rosenblueth Arturo: 1900–1970), 137, 144, 159, 160
Розенблатт Фрэнк (Rosenblatt Frank: 1928–1971), 132, 133, 137, 159, 160
Розинг Борис Львович (1869–1933), 287, 310, 347
Рокфеллер Джон (Rockefeller John Davison: 1839–1937), 316
Романовский Иосиф Владимирович (р. 1935), 8, 176, 231, 347, 355
Рот Давид (Roth David (Didier): 1800–1885), 27
Рохас Рауль (Rojas Raul: 1955), 31
Рубенс Петер Пауль (Rubens Peter Paul: 1577–1640), 141
Рубинштейн С. (Rubinstein S.), 234
Ружицки Ежи (Róźicki Jerzy: 1909–1942), 32
Рузвельт Франклин Делано (Roosevelt Franklin Delano: 1882–1945), 147
Румкорф Генрих (Ruhmkorff Heinrich Daniel: 1803–1877), 247, 341
Румянцева Елена Игоревна (1933–2011), 162
Руссел Филипп (Roussel Philippe), 186, 233
Рюрик (Рюрик I) (до 835–879 гг.), 239
Рыкман Джорж (Ruckman George F.), 212, 236

С

Савельев В. А., 233
Садчиков Яков, 205
Сазерленд Айвон (Sutherland Ivan Edward: 1938), 276, 277, 278, 312, 317, 321, 353

Саймон Герберт (Simon Herbert: 1916–2001), 138, 141, 144, 145, 146, 148, 160
Сальва дон Франциско (Salva y Campillo don Francisco: 1751–1828), 240, 271
Саммер Ф. (Summer F. H.), 214
Санадерс П. (Sanuders P. T.), 155
Сарнов Дэвид (Sarnoff David: 1891–1971), 288, 289, 348
Саскинд Чарльз (Sasskind Charles: 1921–2004), 341
Саутер Иоганн Людвиг (Sauter Johann Ludwig: 1780–?), 15
Саутер Иоганн Якоб (Sauter Johann Jacob (jun): 1770–?), 15
Сафонов Владимир Олегович (р. 1954), 234
Свит У. (Sweet W.), 343
Свободской Федор Михайлович, 44
Себеста Роберт У. (Sebesta Robert W.), 176
Сегалович Илья Валентинович (1964– 2013), 203, 204
Селингер П. (Selinger P. G.), 234
Сельберг Эрик (Selberg Erik: 1972), 205, 235
Сендова Е., 230
Сергеев А. П., 354
Сергеев Ярослав Дмитриевич (р. 1963), 87, 88
Серф Винт (Serf Vinton Gray: 1943), 263, 343
Сикрет Артур (Seekret Artur), 344
Силлиман Бенджамин (Silliman Benjamin: 1779–1864), 241
Симон Рольф (Siemon Rolf), 340
Симпсон Джон (Simpson John), 152
Сингх Мадхусудан (Singh Madhusudan), 350
Сиракава Хидеки (Shirakawa Hideki: 1936), 294, 297, 349
Сирота Юрий Наумович (р. 1979), 354
Скляревский Е., 354
Скрябин Александр Николаевич (1872–1915), 336, 337, 355
Скрябин Николай Александрович (1849–1915), 336
Слонимский Хаим-Зелик (Зиновий Яковлевич: 1810–1904), 44, 45, 46, 48, 49, 153, 243

Слущкин Т. (Sluckin T. J.), 348
Смит Т. М. (Smith T. M.), 351
Смолин Д. В., 159
Снайдер Бетти (Snyder Betti), 37
Соболев Сергей Львович (1908–2003), 57, 60
де Солла Прайс Дерек (de Solla Price Derek J.), 9
Соснин Фёдор Иванович (р. 1945), 347
Спенсер Д. (Spencer D.), 158
Спроулл Роберт (Sproull Robert F.: 1945), 322, 353
Стайти Пол (Staiti Paul), 340
Сталин (Джугашвили) Иосиф Виссарионович (1879–1953), 56, 172
Старобогатов Р. О., 162
Старцев П. А., 152
Стаффорд-Фразер Квентин (Stafford-Fraser Quentin), 300, 350
Сташевский В. М., 350
Сташиц Станислав (Staszyc Stanisław: 1755–1826), 43
Стеклов Владимир Андреевич (1883–1926), 56, 98, 100, 108, 171
Степанов Александр Александрович (Stepanov Alexander: 1950), 278, 330, 331, 355
Стибиц Джордж (Stibitz George Robert: 1904–1995), 29, 33, 37
Столлмен Ричард (Stallman Richard Matthew: 1953), 224
Столяр Сергей Ефимович, 355
Стоунбрейкер Майкл (Stonebraker Michael: 1943), 197, 234
Страуструп Бьёрн (Stroustrup Bjarne: 1950), 188, 232
Стросс Р. (Stross R.), 236
Сухоногов Андрей Михайлович (р. 1978), 8

Т

Такеда К. (Takeda K.), 235
Танеев Сергей Иванович (1856–1915), 336
Таненбаум Эндрю (Tanenbaum Andrew Stuart: 1944), 224, 225, 237

Тарски Альфред (Tarski (Tajtelbaum) Alfred: 1902–1983), 82, 93, 105, 107, 111, 112, 126, 127, 154, 157, 158, 189
Термен Лев Сергеевич (Theremin Leon: 1896–1993), 300, 301, 350
Тесла Никола (Tesla Nikola: 1856–1943), 248, 249, 252, 341
Теэтет (410–368 гг. до н. э.), 65
Тидвел Майкл Р. (Tidwell Michael R.), 349
Тихомиров Петр Васильевич (1803–1831), 44
Тихонов Андрей Николаевич (1906–1993), 56
Тобаги Фуад (Tobagi Fuad A.), 256, 342
Толстой Лев Николаевич (1828–1910), 142
Томас И. (Thomas J. M.), 236
Томас Шарль (Tomas Charles Xavier: 1785–1870), 16
Томлинсон Раймонд (Tomlinson Raymond Samuel: 1937), 261, 262
Томпсон Кен (Thompson Kenneth: 1943), 178, 180, 181, 182, 219, 220, 232
Томпсон С. П. (Thompson S. P.), 340
Томсен Е. (Thomsen E.), 201
Томэ Хорст (Thomé Horst: 1947–2012), 351
Торвальдс Линус (Torvalds Linus Benedict: 1969), 224, 225, 237
Торнтон (Thornton), 348
Торрес-Кеведо Леонардо (Torres-Quevedo Leonardo: 1852–1936), 29
Торстен Экедал (Thorsten Ekedahl: 1955), 97, 98
Тофт М. (Tofte M.), 233
Тошиясу Лоуренс Кунии (Tosiyasu Laurence Kunii), 353
Трельфалль Вильям (Threlfall William: 1888–1949), 97
Тренёва Н., 340
Туполев Андрей Николаевич (1888–1972), 301
Турчин Валентин Фёдорович (1931–2010), 163, 230, 293, 348
Тюрин Владимир Фёдорович (р. 1937), 226, 227, 237
Тьюринг Алан (Turing Alan Mathison: 1912–1954), 3, 31, 32, 41, 67, 72, 76, 77, 78, 79, 81, 88, 97, 99, 102, 138, 154, 155, 170, 180, 181, 191, 193, 236, 259, 263
Тьюринг С. (Turing S.), 155

У

- Уайтхед Г. (Whitehead G.), 158
Уидом Дженнифер (Widom Jennifer), 234
Уилкс Морис (Wilkes Maurice Vincent: 1913–2010), 40, 278, 279, 346
Уилсон Митчелл (Wilson Mitchell: 1913–1973), 340
Уилсон Роберт (Wilson Robert R.), 158
Уильямс С. (Williams S.), 237
Уинстон П. (Winston Patrick Henry: 1943), 159
Уитанем Уэйн (Witaenem Wayne), 327
Уитни Джеймс (Whitney James: 1921–1982), 320
Уитни Джон (Whitney John, Sr.: 1917–1995), 32
Украинцев Юрий Дмитриевич (р. 1947), 339
Ульман Дж. (Ulman Jeffrey David), 234
Уолл Ларри (Woll Larry: 1954), 202, 234
Уорнок Джон (Warnock John Edward: 1940), 329, 330
Урвалов Виктор Александрович, 347
Уркварт А. (Urquhart A.), 160
Успенский Владимир Андреевич (р. 1930), 154
Ушаков Дмитрий Николаевич (1873–1942), 339
Уэзеролл Д. (Wetherall David: 1967), 342
Уэйлс Джимми (Wales Jimmy Donald: 1966), 170
Уэйн Рональд (Wayne Ronald Gerald: 1934), 222
Уэлчмэн Гордон (Welchman Gordon: 1906–1985), 32
Уэльс Д. (Wales D.), 179
Уэскоф Мерлин (Wescoff Marlyn), 37

Ф

- Файер Липот (Feier Lipót: 1880–1959), 98
Фано Р. М. (Fano R. M.), 346
Фарей Джон (Farey John: 1766–1826), 47, 48
Фарин Джеральд (Farin Gerald), 353

Фарнесс Т. А. (Furness T. A.), 349
Фейгенбаум Эдвард (Feigenbaum Edward Albert: 1936), 140, 141, 142, 146, 148, 160, 161
Фейгин Олег, 341
Фейджин Р. (Fagen R. E.), 209
Феллер У. В. (Feller W. V.), 353
Феллт Дор (Fellt Dorr), 28
Фергюсон А. (Ferguson A.), 341
Феррье Джон (Ferrier John: 1782–1854), 120
Фет Яков Ильич (р. 1930), 338
Феттер Уильям (Fetter William: 1928–2002), 321
Феферман С. (Feferman S.), 157
Фибоначчи Леонардо (Fibonacci Leonardo: 1180–1250), 117
Филдс Джон Чарльз (Fields John Charles: 1863–1932), 98
Фихтенгольц Григорий Михайлович (1888–1959), 152
Фишер Л. М. (Fisher L. M.), 234
Фишер П. (Fischer Patrick C.: 1935–2011), 182
Флауэрс Томми (Flowers Tommi: 1905–1998), 33
Флегонтов Александр Владимирович (р. 1953), 2, 8
Флехерти Пол (Flaherty Paul: 1964–2006), 203
Фокин Роман Романович (р. 1957), 2, 8
Фокс П. (Fox P.), 232
Фоменко Анатолий Тимофеевич (р. 1945), 156
де Форест Ли (de Forest Lee: 1873–1961), 33
Форрестер Джей (Forrester Jay Wright: 1918), 313, 314, 332, 351
Форсайт Ричард (Forsyth Richard), 149, 159, 161
Франке Герберт (Franke Herbert W.: 1927), 322, 353
Франц Иосиф I (Franz Joseph I: 1830–1916), 81
Фридевальд Михаэль (Friedewald Michael), 346
Фридрих Вильгельм III – Прусский король (Friedrich Wilhelm III: 1770–1840), 242
Фримен У. (Freeman W. H.), 354
Фролов Геннадий Дмитриевич, 230

Фрэнк Герберт (Frank Herbert Patrick: 1920–1986), 322
Фу М. (Fu M. C.), 347
Фурье Жан Батист (Fourier Jean Baptist: 1768–1830), 143
Фусс Павел Николаевич (Fuss Paul Heirich: 1798–1855), 45
Фукс Клаус (Fuchs (Fooks) Klaus (Claus) Emil Julius: 1911–1988), 259
Фулбрайт Джеймс (Fulbright James William: 1905–1995), 294
Фюрстенау М. (Fürstenu M.), 48

Х

Хаббард Мэбел (Hubbard Mabel: 1857–1923), 245
Хайгинботам Уильям (Higinbotham William Alfred: 1910–1994), 326
Хайес П. (Hayes P. J.), 158
Хаммурапи (XVIII в. до н. э.), 65
Ханратти Патрик (Hanratty Patrick J.: 1930–2008), 314, 315
Хансен Бринч Пер (Hansen Brinch Per: 1938–2007), 215, 216, 218, 219
Хан Стивен (Hahn Steven), 324
Хан Филипп (Philipp Matthäus Hahn: 1739–1790), 14, 15
Хант Дж. (Hant J. W.), 220, 236
Хар К. (Har K.), 342
Харди Годфри Харольд (Hardy Godfrey Harold: 1877–1947), 143
Харитонов В. Н., 344
Харос (Haros C.) (конец XVIII – начало XIX века), 45
Харпер Р. (Harper R.), 233
Харрасовиц Отто (Harassowitz Otto: 1845–1920), 339
Хаски Гарри (Huskey Harry: 1916), 179
Хаттори Кинтаро (Hattori Kintaro: 1860–1932), 302
Хаусдорф Феликс (Hausdorff Felix: 1868–1942), 82
Хауэртон П. У. (Howerton P. W.), 346
Хейг Томас (Haigh Thomas), 236
Хемпель Филипп (Hempel Philipp), 340
Хенкин Л. (Henkin L.), 94
Хигер Алан (Heeger Alan Jay: 1936), 294, 295, 349

Хилл Джеф (Hill Geoff), 333
Хилтс П. (Hilts P. J.), 158
Хичкок Фрэнк (Hitchcock Frank Lauren: 1875–1957), 147
Ходес Л. (Hodes L.), 232
Ходжес Л. Ф. (Hodges L. F.), 349
Хокинс Дэвид (Hawkins David: 1913–2002), 145, 146, 160
Холлебик Роберт (Hollebeek Robert: 1951), 200, 234
Холлерит Герман (Hollerith Herman: 1860–1929), 28
Холлоуэй Б. (Holloway B.), 19
Холоньяк Ник (Holonyak: 1928), 297, 298, 349
Хомски Ноам (Chomsky Noam: 1928), 164, 230
Хопкрофт Дж. (Hopcroft John Edward: 1939), 158
Хоппер Грейс (Hopper (Murrey) Grace: 1906–1992), 273, 274, 345
Хорн Альфред (Horn Alfred: 1918–2001), 185, 233
Хорошевский Владимир Федорович (р. 1946), 159
Хорошенко Сергей Викторович (р. 1954), 231
Хорстман К. С. (Horstman K.), 233
Хоххайзер Шелдон (Hochheiser Sheldon), 348
Хрощицки Юлиуш (Chrościcki Juliusz: 1943), 141, 160
Хьюз Дэвид (Hughes David Edward: 1831–1900), 241, 243, 246, 340
Хьюит Карл (Hewitt Carl), 184, 233

Ц

Цветов Михаил Александрович (р. 1952), 339
Цейтин Григорий Самуилович (р. 1936), 100, 156, 177
Цинь Шихуанди (первоначальное имя: Инь Чжень) (3 в. до н. э.), 301
Цузе Конрад (Zuse Konrad Ernst Otto: 1910–1995), 29, 30, 31, 136, 173, 174, 231, 312
Цыбаков Борис Соломонович, 253, 342
Цыцулин Александр Константинович (р. 1947), 355

Ч

- Чайковский Пётр Ильич (1840–1893), 355
Чанг К. (Chang K.), 349
Чанг К. К. (Chiang K. K.), 349
Чапс А. (Chups A.), 154
Чебышев Пафнутий Львович (1821–1894), 50
Чемберлен Дональд (Chamberlen Donald D.: 1944), 196, 234
Чень-Чунг Чанг (Chen-Chung Chang: 1930), 112
Черная Маргарита Юрьевна, 355
Чернышев Владимир Анатольевич (р. 1982), 204
Черч Алонзо (Church Alonzo: 1903–1995), 72, 76, 88, 90, 91, 99, 126, 122, 158
Чуа Тат-Сенг (Chua Tat-Seng), 353

Ш

- Шапп Игнаций (Chapp Ignace: 1760–1829), 239
Шапп Клод (Chapp Claude: 1763–1805), 239
Шато Пьер (Château Pierre), 239, 240
Шварц Миша (Schwartz Mischa), 342
Шебшаевич Валентин Сергеевич (1921–1993), 344
Шейц Георг (Sheutz Pehr George: 1785–1873), 27
Шейц Эдвард (Sheutz Edward George: 1821–1881), 27
Шелухин Олег Иванович (р. 1943), 349
Шеннон Клод (Shannon Claude Elwood: 1916–2001), 32, 119, 138, 139, 146, 147, 148, 161, 276, 277
Шербиус Артур (Scherbius Arthur: 1878–1929), 31
Шерер Ф. Бенджамен (Shearer F. Benjamin: 1924–1994), 343
Шестаков Виктор Иванович (1907–1987), 32, 148, 161
Шёнберг Исаак (Schönberg Isaac Jacob: 1903–1990), 315, 316, 355
Шибле Джоан (Schieble Joanne Carole), 222

Шиллинг Павел Львович (Schilling von Cannstatt Paul: 1786–1837), 241, 242, 243, 340
Шиккард Вильгельм (Schickard Wilhelm: 1592–1635), 12
Шиффер М. Б. (Schiffer M. B.), 351
Ши Шэнь (4 в. до н. э.), 23
Шкабара Екатерина Алексеевна (1913–2002), 153
Шлензак В. А. (Ślęzak Włodzimierz A.: 1952), 101, 157
Шмидт Вернер (Schmidt Werner Helmut: 1944), 8, 49
Шмидт Ганс (Hans-Thilo Schmid: 1888–1943), 32
Шмидт Карл (Schmidt Karl: 1874–1961), 143
Шнолл М. (Schnall M.), 234
Шортлифф Эдвард («Тэд») (Shortliffe Edward H.: 1947), 141
Шотт Каспар (Schott Kaspar: 1608–1666), 26
Шоу Джон Клиффорд (Show John Clifford: 1922–1991), 138
Штайгер Отто (Steiger Otto: 1858–1923), 28
Штафель Абрахам Израель (Staffiel Israel: 1814 – после 1877), 49, 50
Штерн Абрахам (Stern Abraham Jakob: 1769–1842), 43
Шубский Павел, 354
Шугарт Алан (Shugart Alan Field: 1930–2006), 283, 284, 347
Шульц Генри (Schulz Henry: 1893–1938), 145
Шур Иссайя (Schur Issai: 1875–1941), 316
Шустер Ю. (Schuster E. F.), 352
Шэкель Брайан (Shackel Brian), 274, 310, 345
Шю Д. (Schewe J.), 354

Э

Эванс Дэвид (Evans David: 1924–1998), 278, 321, 353
Эвешед Сол (Evershed Saul), 340
Эдварс Д. (Edwards D.), 232
Эдисон Томас Альва (Edison Thomas Alva: 1847–1931), 243, 340
Эдлин И. С., 152
Эдмондсон Джозеф (Edmondson Joseph: 1853–1927), 28

Эдуард VI (король Англии и Ирландии) (Edward VI: 1537–1553), 278
Эйк Каролина (Eysck Carolina: 1986), 350
Эйлер Леонард (Euler Leonhard: 1707–1783), 335
Эйнштейн Альберт (Einstein Albert: 1879–1955), 143
Эйхман Д. (Eichmann D.), 235
Эккардт Майкл (Eckardt Michael), 351
Эккель Брюс (Eckel Bruce: 1957), 233
Эккерт Джон Преспер (Eckert John Adam Presper: 1919–1995), 35, 36, 37, 38, 40
Эммануил III (Витторио) – король Италии (Vittorio Emanuele III: 1869–1947), 250
Энгельбарт Даг (Engelbart Douglas Carl: 1925), 215, 223, 275, 276, 346
Эндертон Г. (Enderton H. B.), 91
Энтикнап Р. Г. (Enticknap R. G.), 352
Эпплеби Т. (Appleby T.), 341
Эрлих Ю. Н., 340
Эрнст Мориц Арндт (Ernst Moritz Arndt: 1769–1860), 49
Эспрей У. (Aspray W.), 155
Эсхил – древнегреческий драматург (525–456 гг. до н. э.), 7
Этзиони Орен (Etzioni Oren), 235
Эхнатон (первоначально Аменхотеп IV) – фараон Древнего Египта (1375–1336 гг. до н. э.), 238

Ю

Юркина (Истомина) Марина Николаевна (р. 1985), 8
Юров Виктор Иванович, 231
Юсупов Рафаэль Мидхатович (р. 1934), 8, 338, 355
Юшкевич Адольф (Андрей) Павлович (1906–1993), 155

Я

Якоби Борис Семёнович (von Jacobi Moritz Herman: 1801–1874), 242, 340

Якоби Карл (Jacobi Carl Gustav Jacob: 1804–1851), 242

Якоби Симон (Jacobi Simon), 242

Якобсон Евла (вторая половина XVIII века), 43, 45

Якубсон Михаил Яковлевич (р. 1959), 101

Янов Юрий Иванович, 166, 230

Ярдецки Пол (Jardetzki Paul), 300

Яроцкий А. В., 340

Ященко Иван Валерьевич (р. 1968), 154

Предметный указатель

Абак, 9

Автокод, 168

Алгебра Кодда

– реляционная, 196

Анализ

гармонический

– дискретный, 318

Аналоговая вычислительная машина (АВМ)

– Айкена, 38, 39

– Брука, 51

– Буша, 25, 26

– Гершгорина, 51

– Гутенмахера, 51

– Крылова, 25

– Ладгейта, 28

– Лебедева, 52

Анимация

– компьютерная, 320

Антикитерский механизм, 10

Арифметика

– Пеано, 125

– Сергеева, 87

Арифмометр

- Гамана, 28
- Монро, 28
- Однера, 16
- «Триумфатор», 17
- «Феликс», 17
- Чебышева, 50
- Эдмондсона, 28

Архитектура

- Брука, 52
- Машины Бэббиджа, 20
- фон Неймана, 39, 40
- Цузе, 31
- Эксперной системы, 135

Астролябия

- Гиппарха, 23

Атрибут, 195

АЦПУ, 305

База (банк)

- данных (БД), 190
- сверхбольшая (VLDB), 200

Базы знаний, 128

Библиотека

- графическая, 210

Браузер

- Mosaic, 268
- Netscape Navigator, 268, 269
- World Wide Web, 267

В-сплайн, 316

- неравномерный
- рациональный (NURBS), 317

Веб-камера, 299

Веб-сайт, 267

Видеоадаптер

- VGA (Video Graphical Array), 290
- «Геркулес» (HGC), 289
- EGA (Enhanced Graphical Adapter), 290
- CGA (Color Graphic Adapter), 289
- MDA (Monochrome Display Adapter), 289

Вычислительная модель

- Клини, 89
- Маркова, 84
- Поста, 67
- Тьюринга, 76

Геометрия

- фрактальная, 323

Гипертекст, 189

Гипотеза

- Дэвиса, 103

- Мальцева, 104
- Маслова, 104
- Пуанкаре, 97
- слабая Дэвиса, 104

Глоссарий

- языка FORTH, 175

Граф

- распределения ресурсов, 228
- UNIX-трубы, 220

Графика

- компьютерная, 277, 311

Группа

- аменабельная, 82

DIX-standard, 259

Дизъюнкт

- определенный, 185
- Хорна, 185

Дисплей

- виртуальный ретинальный (VRD), 298
- EC-7066, 273
- интеллектуальный, 291
- на ЖК (жидких кристаллах), 288
- PLATO, 288
- TMOS, 299
- CRT (= ЭЛТ), 286

Домен, 195

Идентификатор

– URI, 267

Изображение

– 3D, 325

Инкапсуляция, 186

Интеграф

– Абданк-Абакановича, 25

Интерфейс, 254, 286

– внешний, 301

– внутренний, 286

– подключаемый

– параллельно, 282

– последовательно, 282

Интуиционизм, 75, 86

Информационно-поисковая система (ИПС), 201

– глобальная, 202

– локальная, 201

– региональная, 201

– специализированная, 201

Каталог, 202

Коммутация

– пакетная, 260

Компилятор

- языка Plankalkül, 174

Компьютер

- Аналоговый, 23, 24
- Грийе, 13
- Лейбница, 12
- музыкальный (CSIRAC), 41, 333
- Паскаля, 12
- Шиккарда, 12

Компьютерная графика, 311

Компьютерная игра

- «Война в Космосе» (Spacewar), 327
- «Крестики – нолики» (Tic-tac-toe), 325
- «Куб поиска» (Cube Quest), 327
- «Мышь в лабиринте» (Mouse in Maze), 326
- «Теннис для двоих», 326
- «Тетрис», 328

Кортеж, 195

Лаборатория

- Bell Labs, 292
- Brookhaven, 326
- CSL, 287
- DECWRL, 258
- HIPL, 298
- Линкольна, 275
- Lawrence Livermore Lab, 37
- NRL, 259
- Wang Lab, 282

Линейка логарифмическая, 11

Литерал, 185

- строковый, 185
- числовой, 185
- элементарный, 185

Логика

- Аристотеля, 123
- байесовская, 149
- высказываний, 122, 123
- нечеткая, 149
- предикатов (первого порядка), 124

Логические вентили

- Шеннона, 148
- Шестакова, 148

Макрос, 291

Матрица

- масштабирования, 324
- поворота, 324
- сдвига, 324

Маршрутизатор, 261

Маршрутизация

- пакетная, 259

Машина

- поисковая, 202
- метапоисковая, 202

– Тьюринга, 77

Метаязык, 189

Механический календарь

– Ал-Бируни, 24

– Ал-Джазари, 24

– Антикитерский, 10

Многопользовательская игра (MUD), 328

Множество

– диофантово, 103

– перечислимое, 95

– разрешимое, 95

Множительное устройство

– Болле, 28

– Кирхера, 26

– Штайгера, 28

Множительные бруски

– Иоффе, 49

Модель данных

– иерархическая, 193

– реляционная, 194

– сетевая, 193

– федеративная, 198

Модем

– AVSD, 299

– DSVD, 299

– голосовой, 299

Модули

– индикаторные, 291

Морфема, 165

Мультипрограммирование, 213

Набор стандартов подключения

– SCSI, 283

– USB, 284

Наследование, 187

Обучающая система

– EURISCO, 142

Операторы

– ввода (вывода), 189

– процедуры, 189

Операционная система

– Amiga, 325

– Multics, 216, 275

– UNIX, 217

Организация информации

– графическая, 223

– страничная, 228

ОС (операционная система), 210

– асинхронная, 228

- BESYS, 212
- ДИСПАК, 226
- Linux, 225
- Mac OS, 223
- мобильная, 219
- MS DOS, 221
- Multiks, 216, 217
- Monitor, 58
- мультипрограммная, 215
- OS/360, 217
- RC 4000, 218
- THE, 215
- UNIX, 220, 221

Отношение

- n-арное, 195

Оценка сложности

- алгоритма, 113
- проблемы, 113

Пакетная обработка, 213

Палочки Непера, 10

Пантелеграф, 307

Парадокс

- Ришара, 163
- Банаха-Тарского, 82

Первичный ключ, 194, 195

Перфокарта
– Жаккара, 16

Паутина
– всемирная (WWW), 266, 267

Переводчик
– электронный, 292

Перо световое, 277

Персональный компьютер (PC)
– «МИР», 325
– «МИР-2», 325
– «AMIGA», 325
– «APPLE II», 325

Перчатки
– сенсорные («говорящие»), 274

Пиксель, 319

Планиметр
– Германа, 24

Полиморфизм, 187

Почта
– электронная, 261

Предикат
– перечислимый, 95

Пример

- группы Новикова, 97
- подгруппы Цейтина, 96

Принтер

- барабанный, 305
- Бэббиджа, 301
- лазерный, 303
 - матричный, 302
 - струйный, 303
 - Inkjet, 303
 - термопринтер, 303
 - IBM Quiet Writer, 303
 - Kodak Diconix-150, 303
 - «Электроника МС 6312», 303
 - UNIPRINTER, 302

Проблема

- алгоритмическая Пуанкаре, 99
- алгоритмической неразрешимости, 101
- Бернсайда, 101
- **NP**, 116
- трехмерных многообразий, 97
- чисел Мерсенна, 94

Программа

- машины Поста, 68
- машины Тьюринга, 77

Программа взаимодействия с компьютером

- Scetchpad, 277
- Touchpad, 277

Протокол

- множественного доступа, 255, 256
- сетевой, 166
- Gopher, 266
- HTTP, 266
- с контролем несущей, 255
- TCP/IP, 263, 265

Равносильность алгоритмов, 71

Радио, 248

Разностная машина

- Бэббиджа, 18, 19
 - малая, 18, 19
 - большая, 19
- Виберга, 27
- Гранта, 27
- Комри, 29
- Шейца, 27

Растр, 319

Растрирование, 319

Расширение языка

- объектно-реляционное, 196

Свойства алгоритмов, 66

Семантика, 164

Сеть¹

- ANSNET, 264
- ARPANET, 257, 260, 261
- Telnet, 264
- CSNET, 262
- EBONE, 264
- Ethernet, 257
- Europanet, 264
- миникомпьютеров, 257
- NETSCAPE, 268
- NSFNET, 264

Сети

- глобальные, 262
- локальные, 253
- предприятий, 253

Символы

- псевдографические, 290

Синтаксис, 164

- AT&T, 169
- Intel, 169

Система

- GM-NAA I/O, 212
- информационно-поисковая (ИПС), 201
- операционная (ОС), 213
- управления
 - БД, 191
 - файлами, 192

¹ Порядок определяется латинским алфавитом.

Система компьютерной графики

- интерактивная (ANTICS–2D), 323
- CAD/CAM (= САПР), 314
- I–DEAS, 317
- SAGE, 314
- TIGER, 317
- UNISURF, 316

Система позиционирования

- GPS, 270
- ГЛОНАСС, 270
- ГОНЕЦ 1DM, 270
- КОСПАС, 270
- ПАРУС, 270
- TRANSIT, 270
- ЦИКАДА, 270
- ЦИКЛОН, 270

Система управления

- доступа в среду (MAC), 254
- АЛОНА, 255
 - чистая, 255
 - дискретная, 255

Ситуация

- прерывания, 189

Сканер

- барабанный, 308
- планшетный, 308

Сложность алгоритмов

- NP-сложность, 115, 116

- Р-сложность, 115
- экспоненциальная, 115

Спидометр

- Бэббиджа, 19

Суммирующая машина

- Барроуза, 27
- Герстена, 27
- Гопкинса, 28
- Лепэна, 27
- Рота, 27
- Слонимского, 44
- Чебышева, 50

Суммирующая и множительная машина

- Куммера, 48
- Морленда, 26
- Слонимского, 44
- Штафеля, 49
- Штерна, 44

Счеты

- Буняковского, 51
- Езерского, 51
- китайские (суан-пан), 9
- русские, 10
- Свободского, 44
- японские (саробан), 9

Табулятор

- Мюллера, 15

- Пауэрса, 29
- Холлерита, 29

Тезис

- Клини-Черча, 72
- Черча, 72

Телеграф

- оптический, 239
- электрический, 240
- электрохимический, 240

Телефон, 244

Теорема

- Геделя (первая), 124
- Геделя (вторая) (о неполноте), 126
- Гентцена, 126
- Матияевича, 104, 105
- Перельмана, 97, 98
- Поста, 96
- Поста-Маркова, 96
- префиксной формы записи, 121
- Хаусдорфа, 82

Терменвокс, 301

Тесселяция, 319

Технологии

- FOLED, 295
- LED, 295, 297
- OLED, 295

- PFOLED, 295
- SOLED, 295
- TMOS, 299
- TOLED, 295

Тип данных, 194

Транслятор

- ПП-1, 169

Трубка

- Бранли, 248
- Брауна или катодно-лучевая (CRT) или электронно-лучевая (ЭЛТ), 252, 253

Универсальная ЭВМ

- Торреса-Кеведо, 29

Уровень сети, 254

Факс-аппарат, 308, 309

Флеш-память, 309

Форма

- Бойса-Кодда, 194
- Бекуса-Наура, 189

Форма записи

- инфиксная, 122
- префиксная, 121

Формальные модели

- логические, 128

- производственные, 130
- сетевые, 129
- фреймовые, 131

Формула

- вычисления чисел Бернулли, 22
- конечных разностей, 18

Формальные системы, 122

Фототелеграф, 307

Фотошоп, 324, 325

Фрактал, 324

Функция

- Аккермана-Петер, 89, 90
- вычислимая (по Посту), 71
- общерекурсивная, 72, 89
- примитивно-рекурсивная, 89
- простейшая, 88
- частично-рекурсивная, 72, 89

Хост, 261

Части реляционной модели

- манипуляционная, 195
- структурная, 195
- целостная, 195

Шахматные программы

- Адельсона-Вельского, 140

- Бернштейна, 139
- Ботвинника, 139
- Бутенко, 139
- Коток-Маккарти, 140
- Тьюринга, 138
- Шеннона, 138

Шина интерфейсная, 283

Шифраторы

- Джефферсона, 32
- ENIGMA, 32
- Шербиуса, 31

ЭВМ

- ABC (Атанасов, Берри), 35
- «Baby», 41
- БЭСМ-1, 59
- БЭСМ-2, 59
- БЭСМ-6, 226
- CDC-6600, 226
- Colossus Mark 1, 41
- Colossus Mark 2, 41
- CSIRAC, 41
- EDSAC (Уилкса), 40
- EDVAC, 40
- ENIAC (Моучли, Эккерта), 35
- Ferrari Mark-1 (Манчестер), 42
- Гарвард Марк 1 (Айкена), 39
- IAS (фон Неймана), 42
- IBM 701, 59
- ILLIAC-1, 40

- JOHNIAC, 40
- MANIAC, 40
- Model K (Стибица), 33
- M-1 (Брука), 60
- M-2, 60
- M-3, 61
- M-40, 59
- МЭСМ (Лебедева), 53, 54
- Стрела, 58
- Урал (Рамеева), 61
- WEIZAC, 40
- Z1 (Цузе), 30
- Z3 (Цузе), 30, 41
- Z4 (Цузе), 31, 41

Экспертная система

- DENDRAL, 141
- MYCIN, 141
- AiD, 141

Электролюминесценция, 295

- предпробойная, 297

Электрография, 305

Язык

- ассемблера, 168
- Бейсик, 163
- высокоуровневый, 173
- логических схем (ЯЛС), 166
- машинный, 167
- метасинтаксический, 165
- Рефал, 163

Язык¹

- Ada, 180
- Algol, 171, 176
- Algol-68, 176, 177
- B, 178
- C, 179
- C++, 188
- EULER, 177, 178
- Forth, 175
- Fortran, 174
- Go, 181
- Java, 188
- Lisp, 183
- Logo, 163
- Modula -2, 178
- ML, 185
- Oberon, 180
- Pascal, 177
- PL/360, 179
- Plankalkül, 173
- Planner, 184
- PostScript, 329
- Prolog, 185
- Simula-67, 186
- Smoltalk, 187
- SQL, 196

Языки

- программирования, 166
- аппликативные (функциональные), 183
- императивные кроссплатформенные, 188
- объектно ориентированные, 186

¹ Порядок дан в соответствии с латинским алфавитом.

- машинно ориентированные, 168
- не формализованные (полностью), 166
- структурного программирования, 176
- формально алгоритмические, 166

Языки программирования

- АЛГЭМ, 258
- АЛМИР-65, 325
- Альфа, 274
- АНАЛИТИК, 325
- Бета, 274
- Лексикон, 274
- АWK, 292
- COBOL, 273
- Design System, 329
- DYNAMO, 313
- FLOW-MATIC, 273
- HTML, 267
- PRONTO, 314
- Scheme, 331
- Tecton, 331

Список иллюстраций

1. Антикитерский механизм, 10
2. Филипп Хан, 14
3. Жозеф Мари Жаккар, 16
4. Вильгот Теофил Однер, 16
5. Чарльз Бэббидж, 17
6. Луидже Менабреа, 21
7. Якоб Амслер-Лаффон, 24
8. Бруно Абданк-Абаканович, 25
9. А. Н. Крылов, 25
10. Веннивер Буш, 26
11. Конрад Цузе, 30
12. Джон В. Атанасов, 34
13. Клиффорд Берри, 35
14. Джон П. Эккерт
и Джон Моучли, 36
15. Говард Айкен, 38
16. Арифмометр Чебышева, 50
17. Л. И. Гутенмахер, 51
18. С. А. Лебедев, 52
19. С. Г. Крейн, 54
20. С. А. Авраменко, 54
21. И. С. Брук, 55
22. Б. И. Рамеев, 55
23. Н. Н. Боголюбов, 58
24. Б. Н. Малиновский, 63
25. В. М. Глушков, 63
26. Эмиль Пост, 68
27. Курт Гёдель, 79
28. Алан Тьюринг, 80
29. Джон фон Нейман, 81
30. А. А. Марков, 84
31. Стивен Клини, 86
32. Я. Д. Сергеев, 87
33. Ружа Петер, 89
34. Вильгельм Аккерман, 92
35. Джулия Робинсон, 93
36. Г. Я. Перельман, 97
37. П. С. Новиков, 101
38. Ю. В. Матиясевич, 104
39. Мартин Дэвис, 106
40. Хилари Путнам, 106
41. С. Ю. Маслов, 109
42. Альфред Тарски, 111
43. Л. А. Левин, 116
44. Стивен Кук, 116
45. Джон Маккарти, 119
46. Джузеппе Пеано, 125
47. Мэрвин Мински, 132
48. Фрэнк Розенблатт, 133
49. Сеймур Пейперт, 134
50. Типичная экспертная
система, 136
51. М. М. Ботвинник, 139
52. Норберт Винер, 142
53. Артуро Розенблатт, 144
54. Герман Саймон, 144
55. Клод Шеннон, 146
56. Томас Куртц, 164
57. Джон Кемени, 165
58. Идит Харель Капертон, 165
59. Ада Лавлейс, 166

60. А. А. Ляпунов, 169
61. Джон Бекус, 170
62. Адриаан Вийнгаарден, 171
63. Конрад Цузе, 173
64. Чарльз Мур, 175
65. Г. С. Цейтин, 177
66. Мартин Ричардс, 178
67. Никлаус Вирт, 180
68. Кен Томпсон, 181
69. Деннис Ритчи, 182
70. Джон Алан Робинсон, 184
71. Карл Хьюитт, 184
72. Робин Милнер, 185
73. Кристен Ньюгорд, 186
74. Даль Оле-Йохан, 187
75. Бьёрн Страустроп, 188
76. Рейнольд Джонсон, 191
77. Чарльз Бахман, 192
78. Эдгар Кодд, 194
79. Дональд Чемберлен, 196
80. Майкл Стоунбрейкер, 197
81. Д. В. Крюков, 203
82. Ф. Ю. Волож, 204
83. И. В. Сегалович, 204
84. Яков Садчиков, 205
85. Ларри Пейдж, 205
86. Сергей М. Брин, 207
87. Оуэн Мокк, 212
88. Фернандо Курбатó, 214
89. Бринч Пер Хансен, 215
90. Эдсгер Дейкстра, 215
91. Брайан Карниган, 220
92. Дуглас Макилрой, 220
93. Пол Аллен, 221
94. Билл Гейтс, 221
95. Стив Джобс, 222
96. Стив Возняк, 223
97. Дуглас Энгельбарт, 223
98. Ричард Столлмен, 224
99. Эндрю Таненбаум, 225
100. Линус Торвальдс, 225
101. Сеймур Крэй, 226
102. В. Ф. Тюрин, 226
103. Сэмюэль Морзе, 241
104. Б. С. Якоби, 243
105. П. Л. Шиллинг, 243
106. Д. Э. Хьюз, 244
107. З. Я. Слонимский, 244
108. Филипп Райс, 245
109. Александр Белл, 246
110. П. М. Голубицкий, 246
111. Генрих Герц, 247
112. Эдуард Бранли, 248
113. Никола Тесла, 249
114. Оливер Лодж, 249
115. А. С. Попов, 250
116. Д. А. Лачинов, 251
117. Гульельмо Маркони, 251
118. Карл Браун, 252
119. Джагадиш Чандра Боше, 253
120. Норман Абрамсон, 255
121. Ларри Робертс, 255
122. Леонард Клейнрок, 256
123. Фуад Тобаги, 257
124. Пол Бэрэн, 257

125. Роберт Маткальф, 259
126. Дональд Дэвис, 260
127. Сеть ARPANET, 261
128. Винт Серф, 263
129. Роберт Кан, 264
130. Магистраль сети NSFNET в 1988 г., 265
131. Тим Бернерс-Ли, 226
132. Роберт Кайо, 267
133. Марк Маккахил, 267
134. Марк Андриссен, 269
135. Джеймс Кларк, 269
136. Грейс Хоппер, 274
137. А. П. Ершов, 274
138. Джозеф Ликлидер, 275
139. Дуглас Энгельбарт на презентации 09.09.1968 г., 276
140. Айвон Сазерленд, 277
141. Морис Уилкс, 279
142. Саул (Сол) Гасс, 281
143. Л. В. Канторович, 281
144. Ван Ань, 282
145. Алан Шугарт, 284
146. Джеф Раскин, 284
147. Символ USB, 285
148. Логотип SCSI-устройства, 285
149. Б. Л. Розинг, 287
150. В. К. Зворыкин, 288
151. Дональд Битцер, 289
152. Дэвид Сарнов, 289
153. Альфред Ахо, 292
154. Питер Вайнбергер, 292
155. Питер Норман, 293
156. В. Ф. Турчин, 293
157. Андре Бернаноз, 295
158. Алан Хигер, 295
159. О. В. Лосев, 296
160. Алан Макдиармид, 297
161. Хидэки Сиракава, 297
162. Ник Холоньяк, 298
163. Л. С. Термен, 300
164. Принтер фирмы Remington Rand для компьютера «UNIVAC 1», 302
165. Е. Е. Горин, 305
166. Честер Карлсон, 306
167. Джованни Казелли, 307
168. Артур Корн, 308
169. Фуджио Масуока, 309
170. Макс Бенс, 312
171. Георг Нис, 313
172. Джей Форрестер, 314
173. Патрик Ханрати, 315
174. Исаак Шёнберг, 316
175. В. Н. Малозёмов, 318
176. Н. Н. Константинов, 319
177. Братья Джон и Джеймс Уитни, 320
178. Узор Бена Лапоски, 321
179. Алан Китчинг, 323
180. Бенуа Мандельброт, 323
181. Фрактал, 324
182. Уильям Хайгинботам, 326
183. Стив Рассел и Мартин Грец за игрой, 327
184. Кирпичики-тетрамино, 308

185. А. Л. Пажитнов, 329
186. Джон Уорнок, 330
187. А. А. Степанов, 331
188. Чарльз Гешке, 331
189. Тревор Пирси, 334

190. Мэстон Берд, 334
191. Яннис Ксенакис, 335
192. Б. М. Галеев, 336
193. А. Н. Скрябин, 337
194. С. А. Губайдулина, 337

Учебное издание

В. П. Одинец

**ЗАРИСОВКИ
ПО ИСТОРИИ КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК**

Учебное пособие

Редактирование и компьютерный макет *И. В. Шевелева*

Дизайн обложки *А. А. Ергакова*

Подписано в печать 23.12.13. Формат 60×84 ¹/16. Тираж 75 экз.

Печать ризографическая. Гарнитура Times New Roman.

Усл. печ. л. 24,5. Уч. изд. л. 15,4. Заказ № 66.

Санитарно-эпидемиологическое заключение
№ 11.РЦ.09.953.П.001215.12.09 от 01.12.2009 г.

Редакционно-издательский отдел
Коми государственного педагогического института
167982, Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 25

