

9. Мечников И. И. Сравнительно-патологическое исследование о воспалении в связи с вопросом о внутриклеточном пищеварении.— В кн.: И. И. Мечников. Собр. соч. М.: Изд-во мед. лит-ры, 1954, т. V.
10. Зильбер Л. А. Основы иммунитета. М.: Медгиз, 1948.
11. Бляхер Л. Я. Научные связи А. О. Ковалевского и И. И. Мечникова с зарубежными зоологами и эмбриологами.— В кн.: Тр. Ин-та истории естествознан. и техники. М.: Изд-во АН СССР, 1959.
12. Зильбер Л. А. Иммунологические исследования И. И. Мечникова.— В кн.: И. И. Мечников. Собр. соч. М.: Изд-во АМН СССР, 1952, т. VII.
13. Мечников И. И. Страницы воспоминаний. М.: Изд-во АН СССР, 1946.
14. Заболотный Д. К. Основоположники Одесской бактериологической станции. Одесский гос. сан.-бакт. ин-т им. И. И. Мечникова. Отчет за 25 (юбилейный) год. Одесса. 1927.
15. Фикс А. И. И. Мечников и научная деятельность одесских врачей.— В кн.: Выдающийся русский ученый. Кишинев, 1971.
16. Протоколы Общества одесских врачей. Одесса, 1887, № 9.
17. Ковалевский А. О. О выделительных органах беспозвоночных животных.— Зап. Новороссийского общества естествоиспытателей, 1889, т. 14, вып. 1.
18. Мечников И. И. Выступление в прениях по докладам Ру и др.— В кн.: И. И. Мечников. Собр. соч. М.: Изд-во АМН СССР, 1955, т. IX.
19. Мечникова О. Н. Жизнь Ильи Ильича Мечникова. М.—Л.: Госиздат, 1926.
20. Вайндрах Г. Эмиль Ру (1853—1933).— Журн. эпидемиол. и микробиол., 1934, № 1.
21. Тарасевич Л. А. 25-летний юбилей Парижского Пастеровского института.— Природа, 1913, № 12.
22. Письмо Э. Ру.— Природа, 1916, № 7—8.
23. Мечников И. И. Письма к О. Н. Мечниковой (1876—1899). М.: Наука, 1978.
24. Миленушкин Ю. И. И. И. Мечников и международное сотрудничество ученых.— Журн. микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии, 1970, № 5.
25. Рукописные и документальные материалы И. И. Мечникова. М.: Бюро научной информации, 1960.
26. Мечников И. И. Лекции о сравнительной патологии воспаления, читанные в апреле и мае 1891 г. в Пастеровском институте. Спб., 1892.
27. Архив в АН СССР. Ф. 584, оп. 3, № 6, ед. хр. 44.
28. Жуков-Вережников Н., Вязов О. Илья Ильич Мечников — основатель научной иммунологии.— В кн.: И. И. Мечников. Собр. соч. М.: Изд-во АМН СССР, 1953, т. VIII.
29. Мечников И. И. Невосприимчивость в инфекционных болезнях.— В кн.: И. И. Мечников. Собр. соч. М.: Изд-во АМН СССР, 1953, т. VIII.
30. Гайсинович А. Е. Хроника жизни и творчества И. И. Мечникова.— В кн.: И. И. Мечников. Письма к О. Н. Мечниковой (1876—1899). М.: Наука, 1978.
31. Bordet J. Le mecanisme de l'immunisation contre le serum danuilles.— Ann. de l'Inst. Paster, 1899, XIII.
32. Tchistovitch T. Etudes sur l'immunisation contre le serum danuilles.— Ann. de l'Inst. Paster, 1899, XIII.
33. Мечников И. И. Клеточные яды (цитотоксины).— В кн.: И. И. Мечников. Собр. соч. М.: Изд-во АМН СССР, 1952, т. V.
34. Metchnikoff E., Bezredka A. Recheres sur l'action de l'hemotoxine sur l'Homme.— Ann. de l'Inst. Pasteur, 1910, XIV.
35. Зильбер Л. А. и др. О специфическом антигене в клетках злокачественных опухолей.— Вестн. АМН СССР, 1948, № 3.
36. Bezredka A. M. Anaphylaxie et antianaphylaxie. P., 1916.
37. Тушинский М. Д., Чистович А. Н. Н. Я. Чистович (1860—1926). Л.: Мед. лит-ра, 1963.
38. Маянский Д. Н. Секрция макрофагов.— Успехи соврем. биологии, 1982, т. 93, вып. 1.

I. I. METCHNIKOV AND THE ORIGINS OF THE IMMUNOLOGY

T. I. ULYANKINA

The article deals with the analysis of the activity of the essential scientific schools and scientific groupings which were involved in the problem related to immunity at the end of the XIX-th century. Special attention is paid to the history of the creation and establishment of the I. I. Metchnikov's international scientific school at the Institute of Paster in Paris. The paper describes the activity of I. I. Metchnikov which enabled not only to solve complicated problems related to the mechanisms of natural and artificial immunity to infection diseases, but elaborated some fundamental problems of non-infection immunology, the science which was created only in the sixties of the XX-th century.

В октябре 1951 г. была введена в эксплуатацию МЭСМ — малая электронная счетная машина, первая в нашей стране ЭВМ, разработанная, созданная и испытанная в Институте электротехники АН УССР (г. Киев) под руководством С. А. Лебедева. С тех пор отечественная вычислительная техника стремительно развивалась. Сегодня историк науки анализирует некоторые аспекты этого развития.

РАЗВИТИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ВЫСОКОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

Е. Г. ФЕДОРОВСКИЙ

Сегодня в арсенале электронной вычислительной техники (ВТ) имеются вычислительные средства разного «калибра». Микро-ЭВМ и микропроцессоры способны управлять различными техническими устройствами, научными приборами. Мини-ЭВМ и малые машины успешно справляются с достаточно сложными расчетами, а также с управлением отдельными технологическими процессорами. Средние ЭВМ, составляющие наиболее распространенный класс машин, удовлетворяют нужду в вычислениях, обработке данных самого широкого круга пользователей. Этот ряд завершают большие и сверхбольшие вычислительные системы, составляющие одно из важнейших направлений ВТ. Без помощи больших ЭВМ в наше время невозможны фундаментальные исследования в физике, химии, биологии, астрономии. Нужны они и при автоматизации проектирования. С ними связывают надежды на оптимальное управление отраслями, регионами, наконец, экономикой страны в целом. Именно большие ЭВМ составят опорные пункты государственной сети вычислительных центров — одного из крупнейших в мире проектов, на осуществление которого нацеливают нас директивные документы XXIV, XXV и XXVI съездов партии.

Развитие больших ЭВМ постоянно отставало от запросов практики. В 1963 г. А. А. Дородницын, характеризуя быстродействие наиболее производительных машин того времени, писал: «... Уже сейчас и в области научных расчетов (многомерные задачи физики), и в области экономического планирования крупного масштаба выделяются такие задачи, для решения которых это быстродействие окажется недостаточным. Новые же области применения... потребуют, по-видимому, еще более мощных машин» [1, с. 86]. В 1970 г. он вынужден был повторить: «Несмотря на быстрый рост эффективности ЭВМ и совершенствование методов решения задач..., рост сложности этих задач значительно опережает рост вычислительной техники» [2, с. 110]. Подобное положение сохраняется и в настоящее время [3].

Повышение производительности вычислительных систем ведется сегодня сразу по нескольким направлениям. Во-первых, совершенствуются элементы, из которых «собирается» современная ЭВМ — большие и сверхбольшие интегральные схемы (БИС и СБИС). Во-вторых, появляются все новые и новые архитектурные и структурные решения. И наконец, постоянно улучшается математическое обеспечение — алгоритмы и программы, позволяющие максимально использовать возможности ЭВМ.

Успеху этой работы может способствовать и историко-научное исследование главных тенденций развития больших ЭВМ. Прежде всего необходимо условиться о критериях. До недавнего времени в ВТ господствовал так называемый элементный критерий. Его сторонники основывались на том, что ЭВМ, особенно большая,—это по сути скопление большого числа идентичных «кирпичиков» сравнительно немногих видов. Поэтому увеличение быстродействия элементов означает увеличение быстродействия, а стало быть, и производительности ЭВМ. Большую роль играют и уменьшение размеров элементов, снижение их энергоемкости, повышение надежности, поскольку в заданных пределах удается разместить все большее число элементов и, в конечном итоге, собрать воедино все большее количество блоков, ускоряющих счет, реализующих новые эффективные структурные решения [4].

Как известно, элементное направление связывают с поколениями ЭВМ. В соответствии с этим обычно предлагается следующая периодизация развития ВТ в СССР: предыстория ЭВМ — начало 50-х — середина 50-х годов; первое поколение — середина 50-х — начало 60-х годов — на электронных лампах; второе поколение — начало 60-х — начало 70-х годов — на полупроводниковых приборах; третье поколение — начало 70-х — начало 80-х годов — на интегральных схемах; четвертое поколение — 80-е годы — на больших интегральных схемах (БИС).

И вот результат: если в 50-х годах быстродействие машин измерялось десятками — сотнями тысяч операций в 1 с, в 60-х — миллионами, в 70-х годах — десятками миллионов, то в настоящее время речь пошла уже о сотнях миллионов операций в 1 с. Практически это означает, что, например, умножение 10-цифрового числа самого на себя 100 тысяч раз на самой быстродействующей машине отнимало в 50-х годах несколько минут, в 60-х — около 1 с, в 70-х — несколько миллисекунд, в 80-х — доли миллисекунды. Таким образом, всего за три десятилетия быстродействие ЭВМ возросло в десятки тысяч раз! Изрядная доля этого роста достигнута именно за счет прогресса элементной базы.

Каковы перспективы элементного направления? Рассмотрим с этой точки зрения «начинку» двух наиболее важных узлов ЭВМ — блока памяти и блока арифметических и логических преобразований.

До недавнего времени самыми распространенными элементами оперативных запоминающих устройств являлись ферритовые сердечники диаметром менее 1 мм, прошитые проводами для записи и считывания информации. В 70-х годах память начали строить на полупроводниковых интегральных схемах [5]. В настоящее время полупроводниковая память обладает приемлемыми характеристиками по экономичности, надежности, стоимости. И все же во многих лабораториях ведется интенсивное изучение новых физических принципов. Среди них следует отметить исследования оптоэлектронных, термомагнитных и магнитооптических эффектов (Фарадея и Керра), эффекта Джозефсона, приборов с зарядовой связью и т. д. Во многих из них достигнуты обнадеживающие результаты.

Аналогичное положение складывается и с элементами блока арифметических и логических преобразований. В работе [6] приводится сравнение сверхбыстродействующих БИСов для высокопроизводительных систем 3-го и 4-го поколений, способных работать со скоростью 10^8 — 10^9 операций в 1 с. Промышленность готовится к выпуску БИС с повышенной степенью интеграции. А параллельно, как и в случае с элементами памяти, здесь тоже ведется настойчивый поиск новых физических принципов. Например, полагают, что в элементах, основанных на эффекте Джозефсона, частота переключений может достичь 10^{11} — 10^{12} раз в 1 с, в оптических элементах — 10^{15} . И это не предел. Возможно, в будущем удастся создать элементы, в которых целенаправленное преобразование

информации будет вестись на молекулярном, атомном и даже на электронном и ядерном уровнях! [7].

Именно элементный критерий взяли за основу авторы фундаментальной, единственной в своем роде работы [4]. Следует иметь в виду, что со времени выхода ее в свет (1974 г.) прошло уже немало времени, а развитие ВТ, и в частности вычислительных систем высокой производительности, бурно эволюционирует. Можно допустить, что по крайней мере в этом довольно узком направлении техники элементный критерий, безусловно справедливый до 70-х годов, затем уступил место новому, более эффективному.

Почему возникли сомнения в правомерности элементного критерия? Потому ли, что одни из перспективных направлений, перечисленных выше, существуют пока только на бумаге, лишь в виде абстрактных теоретических схем и гипотез, а другие еще не вышли из стадии лабораторных экспериментов, и слишком рано говорить, что в обозримом будущем они будут доведены до уровня широких промышленных применений? Отчасти и поэтому. Но главное заключается в том, что в последнее время перед создателями ЭВМ встала проблема, заставившая задуматься над непогрешимостью элементного критерия — проблема длины связей.

До 70-х годов такой проблемы не существовало. Электрические связи между элементами, узлами и блоками ЭВМ могли быть практически любой длины, в пределах машинного зала. Однако в дальнейшем возникли ограничения. Со временем устройство ЭВМ стало столь сложным, количество применяемых элементов стало столь велико, что если мысленно вытянуть в одну линию все провода, по которым следуют сигналы, участвующие в вычислительном процессе, допустив даже, что электрические импульсы распространяются по ним с максимальной возможной скоростью — скоростью света, то и тогда итоговая задержка окажется гораздо больше той, что возникает из-за инерции переключений в элементах. Стоит ли говорить, что в больших и сверхбольших вычислительных системах проблема длины связей становится особенно острой. И если задача дальнейшего повышения скорости переключения элементов имеет, как мы видели, много возможных решений, то снижение временных задержек на распространение может вестись единственным путем — путем всемерного уменьшения длины связей.

Сложность проблемы хорошо видна на следующем примере. Пусть требуется спроектировать машину на элементах с частотой переключения 10^{15} с. За время между двумя импульсами электрический сигнал пройдет расстояние $3 \cdot 10^{-4}$ мм. Если длины связей в машине превысят эту величину, очередность выполнения команд может нарушиться, иными словами нарушится вся программа работы ЭВМ. Какими же размерами должна обладать такая вычислительная машина? Реальна ли она вообще?

Вклад элементного направления в разрешение этой проблемы сводится к созданию БИС, СБИС. Каждая из них включает в себя тысячи элементарных переключающих элементов, и, таким образом, большая часть межэлементных соединений как бы загоняется внутрь миниатюрной интегральной схемы, их длина минимизируется. Однако в начале 70-х годов все чаще стали высказывать мнения, согласно которым производительность ЭВМ определяется не только конструкцией и числом элементов, но и организацией взаимодействия блоков, т. е. структурой. Со временем структурный критерий стали ставить на первое место.

По-видимому, впервые постановка проблемы взаимоотношения элементного и структурного признаков и решение ее в пользу последнего была осуществлена в нашей стране еще в начале 60-х годов. Так, в 1964 г. Н. Н. Боголюбов подчеркивал: «Сейчас становится все более очевидным, что значительное повышение параметров машин на три-четыре

порядка может быть достигнуто не только и не столько за счет развития технических возможностей их элементов, сколько путем коренного пересмотра установившихся представлений о логической структуре машин, создания принципиально новых логических структур, оптимально использующих в каждый момент времени оборудование» [8, с. 18]. Впоследствии эту точку зрения стали разделять и другие исследователи.

Обычно, говоря о структурных методах увеличения производительности ЭВМ, имеют в виду так называемый принцип параллелизма: вычислительный процесс разбивается на части, работа над ними ведется параллельно, одновременно. В принципе чем больше организуется параллельных ветвей в вычислениях, тем больше итоговое быстродействие ЭВМ.

Исторически, как показывают исследования, принцип параллелизма применялся на разных уровнях. В соответствии с этим предлагается следующая периодизация развития отечественных вычислительных систем высокой производительности по структурному признаку: первый период — начало 50-х — середина 60-х годов — вычислительные машины последовательного действия; второй период — середина 60-х — конец 70-х годов — мультипрограммные вычислительные системы; третий период — конец 70-х годов и далее — многопроцессорные вычислительные системы.

Конечно, предлагаемая периодизация, как и всякая схема, достаточно условна. В значительной степени это объясняется тем, что исследуемый объект уникален. Как правило, большие и сверхбольшие ЭВМ, высокопроизводительные вычислительные системы производят в единичных экземплярах, серийное производство часто отсутствует. Поэтому границы периодов определены временем пробуждения теоретического интереса к системам, наделенным той или иной степенью параллелизма, и временем, когда данное направление в основном разработано, появились достаточно обнадеживающие практические результаты.

Отметим, что формально обе периодизации — по элементному и структурному признакам — повторяют друг друга, правда во втором случае границы периодов несколько запаздывают во времени. Однако по существу, как в этом предстоит убедиться в дальнейшем, периодизация, основанная на структурном критерии, обеспечивает более полную адекватность логического и исторического развития — в большей мере отвечает насущным задачам, стоящим перед создателями вычислительных систем, четче обозначает пути их дальнейшего развития, ярче вскрывает коренные проблемы, возникающие на этом пути, требующие своего решения.

Охарактеризуем выделенные периоды несколько более подробно. **Первый период.** Главная особенность вычислительных машин последовательного действия — наличие жесткого цикла выполнения операций, работа без совмещения. На практике это означает, что каждая последующая команда в программе начинается выполняться только после завершения предыдущей операции. Например, пока устройство ввода — вывода «перекачивает» исходные данные из внешней памяти в оперативную, арифметико-логическое устройство простаивает. И наоборот, когда оно, наконец, приступает к обработке данных, простаивает устройство ввода — вывода. Этот принцип работы положен в основу машин БЭСМ-1, БЭСМ-2, Стрела, М-3, Минск-1, Минск-2, Минск-22, Урал-1, Урал-2 и др. с производительностью в несколько тысяч — десятков тысяч операций в 1 с. Из-за присущего им последовательного действия их иногда называют однозадачными ЭВМ.

Важно подчеркнуть, что в машине М-20, разработанной в ИТМ и ВТ АН СССР под руководством С. А. Лебедева и выпускаемой серийно с 1959 г., уже имело место совмещение операций: во время выполнения арифметико-логическим устройством какого-либо действия велась под-

готовка к исполнению очередной команды. Когда же все необходимые вычисления заканчивались, арифметико-логическое устройство не простаивало в ожидании окончания работы медленно действующего печатающего устройства, фиксирующего результаты счета, а приступало к обработке свежей порции данных в соответствии с очередной командой, поскольку вся предыдущая информация, предназначенная на вывод, быстро сбрасывалась на магнитный барабан и уже потом, параллельно с работой арифметико-логического устройства, подавалась на печатающее устройство. Не случайно М-20 была для своего времени одной из самых прогрессивных и производительных ЭВМ в мире [9].

Любопытно отметить, что в начале 60-х годов в СССР и за рубежом не раз высказывалась мысль о возможности применения принципа параллелизма не к блокам ЭВМ, а к ее простейшим объектам, чтобы одним элементом управлять работой не одного, как обычно, а множества элементов — «картиной». Однако если советские исследователи, видимо почувствовав бесперспективность этого направления на данном этапе, ограничились лишь постановкой и теоретическим решением проблемы организации параллельных логических операций над массивами информации («картинами»), американские инженеры вплотную приступили к реализации метода «картинной логики». В 1963 г. Л. А. Эдельштейн (L. A. Edelstein), руководитель проекта ЭВМ «Bucchus», обещал с помощью «картинной логики» достичь быстродействия 10^{20} операций в 1 с [10]. Однако метод, с которым в то время в США многие связывали дальнейшее развитие ВТ, практического применения не получил.

Второй период. Эксплуатация машин последовательного действия показала, что главные резервы дальнейшего повышения производительности кроются в обеспечении более равномерной загрузки всех блоков машины. Лучше всего глубокого совмещения операций можно добиться при выполнении не одной, а нескольких программ (так называемая мультипрограммная логика).

Блок арифметико-логических преобразований, оперативное запоминающее устройство и другие устройства мультипрограммных ЭВМ используются в соответствии с довольно строгой дисциплиной обслуживания, поддерживаемой автоматически с помощью специальных программно-аппаратных средств. Так, управляющая программа операционной системы обеспечивает порядок выполнения программ по их приоритетам, делит между программами время работы процессора, распределяет ресурсы оперативного запоминающего устройства для размещения данных, обеспечивает нормальный ход вычислительного процесса, оперативно включая одну программу, отключая на время другую и т. д. Система прерывания приостанавливает работу процессора над текущей программой при выходе из строя какого-либо блока, истечении отведенного времени, нехватке исходных данных или по каким-либо другим причинам, отправляет информацию о прерванной программе в запоминающее устройство до получения от управляющей программы сигнала разрешения на доработку, переключает процессор на следующую программу... Система защиты ограждает программы и данные от случайного влияния друг на друга, несанкционированного доступа и пр.

С помощью новых режимов работы — пакетная обработка, режим разделения времени, работа в реальном масштабе времени по приоритетам — на мультипрограммных ЭВМ стали решать несколько частей одной большой задачи или несколько задач параллельно, одновременно. Производительность ЭВМ возросла до сотен тысяч — миллионов операций в 1 с.

Мультипрограммирование вызвало в 60-х годах ломку классической структуры ЭВМ, состоящей доньше из четырех структурных элементов: арифметико-логического устройства, запоминающего устройства, устройства управления и устройства ввода — вывода. Прежде всего про-

изошло как бы размывание ранее весьма четкой границы между ними. Так, в арифметико-логическом устройстве появились небольшие «вкрапления» памяти, и наоборот в блоках памяти — вспомогательные арифметико-логические устройства, заметно ускоряющие и облегчающие вычислительный процесс в целом. Появились и новые структурные элементы ЭВМ. Например, потребность в обслуживании большого числа пользователей привела к появлению терминалов и абонентских пунктов, удаленных от ЭВМ на многие сотни, а иногда и тысячи километров. Это, в свою очередь, привело к вычленению в составе ЭВМ новых блоков, таких, как каналы ввода — вывода, устройства сопряжения с каналами связи и т. д. Структурные изменения затронули и память. Наряду с оперативным и внешним запоминающими устройствами, резко отличающимися между собой объемом и скоростью работы, стали широко использоваться дополнительные запоминающие устройства — буферные, занимающие среднее положение между внешней и оперативной памятью, сверхоперативные, стековые и т. д.

Первая отечественная мультипрограммная ЭВМ — БЭСМ-6 [11]. Разработанная под руководством С. А. Лебедева и В. А. Мельникова, она стала серийно выпускаться с 1967 г. БЭСМ-6 оказалась самой производительной в СССР машиной вплоть до 1981 г., что во многом объяснено оригинальностью заложенных в ней структурных принципов, и в первую очередь так называемого принципа водопровода, с помощью которого скорость относительно медленного ферритового оперативного запоминающего устройства «подтягивалась» до скорости быстродействующего арифметического устройства.

Это достигалось, во-первых, тем, что оперативная память БЭСМ-6 состояла из восьми параллельных блоков, допускающих одновременную выборку операндов. И если, например, требовалась выборка информации по восьми следующим друг за другом адресам памяти, она осуществлялась не последовательным обращением к одному, а почти параллельным обращением к восьми разным блокам памяти. Во-вторых, при наличии слишком частых обращений к памяти запросы поступали на специально предусмотренные для этого группы регистров, где они ожидали своей очереди. Такая буферизация сочеталась со способностью машины просматривать команды «вперед». В-третьих, в структуре БЭСМ-6 предусмотрена сверхоперативная память сравнительно небольшого объема. Она избавляла от обращений к оперативной памяти за часто используемыми операндами и небольшими внутренними командными циклами, поскольку в БЭСМ-6 они поступали в арифметические устройства непосредственно из неадресуемых быстрых регистров. В отдельных случаях такая сверхоперативная память позволяла экономить до 60% всех обращений к оперативному запоминающему устройству.

Важно, что программист БЭСМ-6 избавлен от необходимости учитывать род памяти, в которой хранятся данные — оперативная, сверхоперативная, буферная, внешняя. Он действует так, будто в его распоряжении имеется одно быстродействующее и в то же время достаточно емкое запоминающее устройство. Преобразование математических, или виртуальных, адресов в физические адреса машины осуществляется автоматически. Заметим, что впервые идея виртуальной памяти, ее постраничной организации была реализована в машине «Атлас» (Великобритания). Однако способ отображения математических адресов в физические, примененный в БЭСМ-6, значительно отличается от способа английских инженеров, он более совершенный. Впоследствии виртуальная память была введена во всех отечественных мультипрограммных ЭВМ, и в частности во всех высокопроизводительных моделях ЕС ЭВМ [12], например в ЕС-1050 (быстродействие процессора 500 тыс. операций в 1 с), ЕС-1060 (быстродействие свыше 1 млн. в 1 с), ЕС-1066 (быстродействие 5,5 млн. операций в 1 с).

Третий период. Дальнейший рост потребности в вычислениях привел к тому, что оперативного решения требовала уже не одна или несколько задач, а целые их потоки. На смену мультипрограммным системам пришли многопроцессорные, т. е. такие, в которых несколько процессоров работают параллельно на общую память и общее поле внешних устройств. В результате производительность систем увеличилась до нескольких десятков миллионов и даже сотен миллионов операций в 1 с.

В. С. Бурцев, под руководством которого в 70-х годах велась разработка семейства отечественных многопроцессорных вычислительных систем «Эльбрус», отмечал, что главное внимание коллектив разработчиков уделил следующим проблемам:

- «— эффективности использования оборудования;
- возможности обеспечения предельной производительности;
- созданию высоконадежных резервируемых структур, обладающих возможностью постепенного наращивания производительности с учетом адаптации к решаемым задачам» [13, с. 3].

Входящий в семейство многопроцессорный вычислительный комплекс «Эльбрус-1» обладает производительностью от 1,5 млн. до 10 млн. операций в 1 с. Комплекс «Эльбрус-2» будет наделен еще более высокой производительностью [14]. Аналогичные работы проводились и за рубежом, преимущественно в США, где были построены многопроцессорные системы ILLIAC-IV, STARAN-IV и др.

В настоящее время созданы теории разбиения алгоритмов на несколько параллельных программных ветвей, например теория ярусно-параллельных форм и биологических графов. Развита и языковая среда. Для таких широко распространенных алгоритмических языков, как АЛГОЛ, созданы соответствующие надстройки. В других языках, скажем в ПЛ-1, средства распараллеливания заложены при их разработке. Разбиение алгоритма на части, организация параллельных программных ветвей, их распределение по процессорам и синхронизация работы между ними посредством обмена управляющими сообщениями осуществляется операционной системой.

Хотя стремление к достижению максимальной производительности требует вовлечения в нее как можно большего числа процессоров, на практике это число в универсальных вычислительных системах редко превышает 2. Дело в том, что современный уровень развития вычислительной математики и вычислительной техники не позволяет для большинства алгоритмов произвести хотя бы приблизительную априорную оценку сложности и соответственно длительности вычислений на различных параллельных программных ветвях. По этой причине загрузка процессоров операционной системой оказывается слишком неравномерной: одни несут на себе всю тяжесть вычислений, другие слишком быстро справляются с возложенными на них обязанностями и в основном простаивают. В результате совмещение работы процессоров оказывается неглубоким, удельная стоимость многопроцессорной вычислительной системы — слишком высокой.

Отсюда вытекает магистральный путь развития вычислительных систем высокой производительности. Он связан с теоретическим и практическим решением проблемы распараллеливания алгоритмов с помощью программно-аппаратных средств в полностью автоматическом режиме.

Пока ученые и инженеры бьются над ее окончательным решением, рентабельность многопроцессорных систем достигается путем их отхода от универсальности. В самом деле, если трудно приспособить задачу к машине, почему не попытаться сделать обратное — приспособить машину к задаче? Включение в состав современных вычислительных систем специализированных процессоров, нацеленных на решение отдельных, часто встречающихся в вычислительной практике конкретных задач, например осуществляющих Фурье-преобразования или преобразования

векторных величин, позволяет вместе с производительностью всей системы резко повысить ее эффективность.

Другой путь — снижение арифметических и логических возможностей процессоров, а следовательно, и их стоимости. При этом теряется заинтересованность в обязательно полной загрузке оборудования. Становится оправданным создание так называемых высокопараллельных вычислительных систем — с большим количеством процессоров. Так, американская ILLIAC-IV включает в себя 64 процессора, РЕРЕ — 288.

В 1975 г., анализируя возможные пути развития отечественной ВТ, В. М. Глушков писал: «... сегодня (особенно после организации массового производства микропроцессоров) возникает актуальная необходимость объединить в одной системе многие тысячи процессоров» [15, с. 37]. Для этого требуется множество сравнительно недорогих микропроцессорных модулей нескольких типов, уже выпускаемых отечественной промышленностью. Охват их аппаратным контролем, введение режима автоматического отключения отказавшего модуля и замены его резервным с помощью специальной программы позволяют обеспечить любую наперед заданную вероятность решения задачи за оговоренный интервал времени. Существенно при этом, что резервные модули составят по стоимости незначительную долю основного оборудования. Подобный способ особенно эффективен при конструировании больших микропроцессорных систем из БИС с высокой степенью интеграции.

К настоящему времени в мире уже создано немало высокопараллельных вычислительных систем, многие проектируются. Они различаются между собой по элементам, из которых они сделаны, числу процессоров, по назначению, так как нацелены на решение тех или иных задач и проявляют известные свойства специализации. Становится особенно актуальной классификация таких систем. И характерно, что наиболее существенным отличительным признаком, который обычно кладут в основу классификации, служит именно структура.

Над проблемой классификации работало много авторов, например В. М. Глушков, К. Г. Самофалов, А. Г. Кухарчук, Г. М. Луцкий, А. А. Сальман, В. К. Зейденберг, И. Н. Лошилов и др., из зарубежных — М. Дж. Флинн (М. J. Flynn), К. К. Фостер (С. С. Foster)... Результаты неоднозначны. Так, В. М. Глушков выделяет рекурсивные, матричные и конвейерные структуры [15]. А. А. Сальман — матричные, магистральные и распределенные [16]. К. Г. Самофалов, А. Г. Кухарчук, Г. М. Луцкий [17], В. К. Зейденберг [18], И. Н. Лошилов [19], М. J. Flynn [20] — однопроцессорные (последовательные), магистральные, матричные, ассоциативные и многопроцессорные структуры. С. С. Foster различает структуры, реализующие метод конвейерной обработки или «пожарной цепочки», метод чередования или карусельный принцип, матричный принцип и метод «разделения труда» [21]. Неудивительно, что одни и те же системы у различных авторов попадают в разные рубрики. Так, STARAN-IV В. К. Зейденберг и И. Н. Лошилов отнесли к ассоциативным системам, а С. С. Foster — к матричным; Star-100 В. К. Зейденберг отнес к магистральным, а С. С. Foster — к конвейерным и т. д.

С историко-технической точки зрения классификация К. Г. Самофалова, А. Г. Кухарчука, Г. М. Луцкого, В. К. Зейденберга, М. J. Flynn — по типу обработки данных — наиболее удачна. Углубляя и конкретизируя понятие параллелизма вычислений, они различают четыре типа организации вычислительного процесса: последовательная обработка данных, когда один поток команд обрабатывает один поток данных; магистральная (или поточная), когда несколько потоков команд обрабатывают один поток данных; матричная или ассоциативная, когда один поток команд обрабатывает несколько потоков данных; многопроцессорная, когда несколько потоков команд обрабатывают несколько потоков данных.

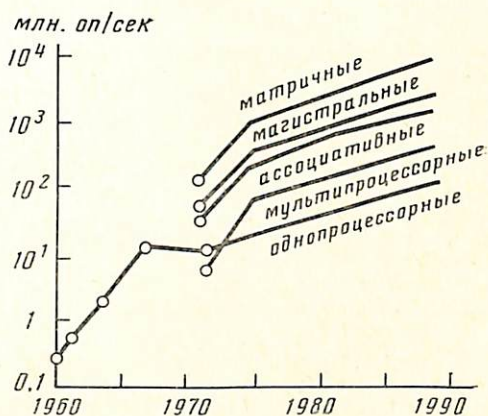
Данная классификация выгодно отличается от других тем, что при своей простоте и компактности охватывает все главные типы высокопараллельных вычислительных систем, а также однопроцессорные и многопроцессорные системы. Отрешившись от терминологических различий, присущих различным авторам, в нее можно свести все известные типы вычислительных систем, включая рекурсивные и распределенные. Удобство классификации заключается и в том, что с ее помощью историки науки могут не только сравнить между собой потенциальную производительность различных типов систем, но и оценить перспективу развития ВТ в целом.

На рисунке приведены результаты прогнозных исследований [19]. Они демонстрируют, что, по крайней мере, до 1990 г. производительность ВТ может быть увеличена во много раз. Ход кривой для однопроцессорной ЭВМ показывает, что только за счет увеличения быстродействия элементов и соответственно увеличения быстродействия процессора, а также за счет улучшения других традиционных средств, производительность ВТ в период 1975—1990 гг. может увеличиться в 10 раз. Применение же структурных решений гораздо эффективнее — позволяет поднять ее в 100—1000 раз. Эти данные выступают перед нами еще одним убедительным доказательством целесообразности замены элементного критерия структурным.

Как видно из рисунка, наивысшей производительностью обладают матричные вычислительные системы, затем, в порядке убывания, идут магистральные, ассоциативные, наконец многопроцессорные. Рекордная производительность, возможная к 1990 г., — 10 млрд. операций в 1 с.

В заключение зададимся вопросом: существуют ли принципиальные ограничения роста высокопроизводительных вычислительных систем? Их дальнейшее развитие сдерживается не столько техническими, технологическими ограничениями, сколько экономической целесообразностью. Еще в конце 40-х годов Г. Грош (Gerb Grosh, США) сформулировал эмпирический закон, и поныне носящий его имя: для любого года, в рамках определенной технологии, производительность ЭВМ пропорциональна квадрату ее стоимости — $P = QC^2$, где P — производительность ЭВМ, C — ее стоимость, Q — постоянный коэффициент, отражающий достигнутый к этому году уровень технологии. По Грошу, дополнительная производительность, превышающая эти пределы, возможна, только за нее придется платить слишком высокую цену. Из закона Гроша, между прочим, вытекает, что, если заставить ежегодные вложения в ВТ ($C = \text{const}$), то предельная производительность вычислительных систем может расти пропорционально темпам технического прогресса (Q), в результате которого стоимость производства ЭВМ неуклонно снижается. В действительности, однако, предельная производительность будет расти быстрее, так как вложения в ВТ во многих странах из года в год все увеличиваются.

Но и эта оценка является заниженной, поскольку появились работы как в СССР [22], так и за рубежом [23], в которых подмечено, что на практике предельная производительность вычислительных систем растет гораздо быстрее, чем это предусматривает закон Гроша. Отсюда выте-



Увеличение производительности вычислительных систем различной структуры

кает перспективность создания вычислительных систем высокой производительности. Становится понятным повышенный интерес, который проявляют к этому направлению ВТ во всем мире.

Литература

1. Дородницын А. А. Проблемы обработки информации.— Вестн. АН СССР, 1963, № 2.
2. Дородницын А. А. Выступление на Общем собрании Академии наук СССР, посвященном вопросам технического прогресса (3—6 февраля 1970 г.).— Вестн. АН СССР, 1970, № 4.
3. Бурцев В. С. Перспективы создания ЭВМ высокой производительности.— Вестн. АН СССР, 1975, № 3.
4. Апокин И. А., Майстров Л. Е. Развитие вычислительных машин. М.: Наука, 1974.
5. Смоленский Г. А. Новые принципы создания магнитной памяти.— Вестн. АН СССР, 1972, № 10.
6. Бубенников А. Н. Сравнение схмотехнических базисов сверхбыстродействующих БИС.— Вopr. радиоэлектроники. Сер. Электронная вычислительная техника, 1978, вып. 3.
7. Глушков В. М. Научные проблемы развития вычислительной техники. Доклад на Юбилейной научной сессии по секции физико-технических и математических наук 8 октября 1975 г.— Вестн. АН СССР, 1976, № 2.
8. Боголюбов Н. Н. Состояние и развитие науки и наиболее крупные научные достижения в стране в 1963 г. Доклад академика-секретаря Отделения математики Академии наук СССР на Общем собрании Академии наук СССР (3—5 февраля 1964 г.).— Вестн. АН СССР, 1964, № 4.
9. Ляшенко В. Ф. Программирование для цифровых вычислительных машин М-20, БЭСМ-3М, БЭСМ-4, М-220. М.: Сов. радио, 1967.
10. Edelstein L. A. «Picture logic» for «Bacchus» a fourth-generation computer.— Computer J., 1963, July, v. 6, № 2.
11. Инструкция по программированию на БЭСМ-6. М.: ИПМ АН СССР, 1967.
12. Система математического обеспечения ЕС ЭВМ/Под общей ред. Ларионова А. М. М.: Статистика, 1974.
13. Бурцев В. С. Принципы построения многопроцессорных вычислительных комплексов «Эльбрус». М.: ИТМ и ВТ АН СССР, 1977, препринт № 1.
14. Бурцев В. ЭВМ: эстафета поколений.— Правда, 1978, 4 апреля.
15. Глушков В. М. Научные проблемы развития вычислительной техники. Доклад на Юбилейной научной сессии по секции физико-технических и математических наук 8 октября 1975 г.— Вестн. АН СССР, 1976, № 2.
16. Сальман Л. А. Современные вычислительные системы. М.: Знание, 1975.
17. Самофалов К. Г., Кухарчук А. Г., Луцкий Г. М. Структуры ЭЦВМ четвертого поколения. Київ: Техніка, 1972.
18. Вычислительная техника за рубежом в 1974 г. Сб./Под ред. Зейденберга В. К. М.: ИТМ и ВТ АН СССР, 1975.
19. Лоцилов И. Н. Перспективы роста производительности ЭВМ.— Зарубеж. радиоэлектрон., 1976, № 5.
20. Flynn M. J. Very High-Speed Computing Systems.— Proc. IEEE, 1966, v. 54, № 12.
21. Foster C. C. A view of computer architecture.— Commun. ACM, 1972, July, v. 15, № 7.
22. Лоцилов И. Н. Перспективы развития вычислительной техники в США. Ч. II. Технические средства.— Зарубеж. радиоэлектрон., 1974, № 6.
23. Knight K. E. Evolving computer performance 1963—1967.— Datamation, 1968, Jan.

DEVELOPMENT OF THE COMPUTING SYSTEMS OF HIGH PRODUCTIVITY

E. G. FEDOROVSKY

The national computer systems of the high productivity have overcome the following stages in their development: the beginning of the 50-ies — the middle of the sixties — electronic computers of successive activity; the middle of the 60-ies — the end of the 70-ies — multiprogramme computing systems; the end of the 70-ies and later — multiprocessor computing systems. The raising of the productivity of computing systems now is conducted in different directions. Their use in science, technology, economics, management is constanly expanding.

К 275-летию со дня рождения М. В. Ломоносова

19 ноября 1986 г. исполняется 275 лет со дня рождения великого русского ученого Михаила Васильевича Ломоносова. Его жизнь и творчество составили целую эпоху в истории науки и культуры. Ломоносов был подлинным ученым-энциклопедистом. В истории мировой науки найдется немало ученых, обладающих столь же широкими интересами и способностями, столь же энциклопедическими знаниями, как М. В. Ломоносов. Актуальные для его времени вопросы физики и химии, астрономии и металлургии, геологии и истории, географии и русского языка — все это привлекало его внимание, давало пищу его блестящему уму и, пройдя через его мысль, отливалось в строки оригинальных произведений, несущих печать ломоносовского гения и поражавших современников и потомков богатством идей и открытий. С его именем связаны выдающиеся достижения в области физики, химии, геологии, техники, философии, истории и литературы. Он заложил основы современного русского литературного языка, грамматики и поэзии. По его инициативе был открыт Московский университет. Он известен как создатель высокохудожественных мозаичных картин.

М. В. Ломоносов стоял у истоков крупнейших разделов современной науки. Его идеи в области атомно-молекулярного строения вещества, теории тепла, света и электричества, физической химии, теории растворов, технической оптики и другие немало определили свое время.

Выдающийся ученый-материалист, он положил в основу разработанной им картины мира принцип сохранения материи и движения, названный им всеобщим законом природы. Он неустанно боролся с невежеством, косностью и консерватизмом. Все его творчество было неразрывно связано с жизненными потребностями России, он стремился сделать знания достоянием своей страны, своего народа. В его исследованиях наряду с фундаментальными проблемами большое место занимали прикладные вопросы, представлявшие значение для практики. М. В. Ломоносов был одним из крупнейших организаторов отечественной науки своего времени. По словам академика С. И. Вавилова «Наша Академия наук получила свое настоящее бытие и смысл только от Ломоносова».

В СССР многое сделано в области изучения жизни и научного наследия М. В. Ломоносова. Выпущено полное собрание сочинений ученого в 11 томах. Осуществляются периодические издания Ломоносовских сборников, отражающих различные этапы его деятельности и влияние его работ на прогресс науки. Его жизни и творчеству посвящены десятки монографий.

275-я годовщина со дня рождения М. В. Ломоносова будет широко отмечаться в нашей стране. Создан Организационный комитет по проведению юбилея во главе с Президентом АН СССР академиком А. П. Александровым. К юбилею намечено издать избранные произведения Ломоносова в двух томах, книги о его жизни и творчестве, воссоздать по сохранившимся чертежам и описаниям первую в России научную Химическую лабораторию, открыть памятник М. В. Ломоносову в Ленинграде. Издательство «Планета» выпустит массовым тиражом набор из 40 цветных листов, отражающих жизнь и творчество ученого. Он сможет быть использован для организации выставок в школах, вузах, научных и культурно-просветительных учреждениях. К юбилею будет выпущена памятная медаль и осуществлен ряд других мероприятий.

Советские историки науки и техники продолжают работать над изучением и популяризацией творчества основоположника отечественной науки, открывая и исследуя новые черты его многогранной научной деятельности. Открывая навстречу юбилею специальную рубрику, наш журнал будет стремиться осветить именно эти недостаточно разработанные стороны ломоносовского наследия, его жизни и деятельности.