

# В.П. Ильин

## Из истории параллелизма в Сибири

### 1. Введение: о сущности и об истоках параллельных вычислений

Распараллеливание алгоритмов на электронных вычислительных машинах (ЭВМ) является на сегодня главным средством повышения производительности компьютеров, поскольку дальнейший рост их рабочей частоты уже приближается к своему физическому пределу, связанному с ограниченной скоростью передачи сигнала.

Прежде чем обсуждать поднимаемые нами проблемы, законно спросить, являются ли они актуальными после свершившегося «большого скачка» в развитии вычислительной техники за последние десятилетия. Утвердительный ответ на этот провокационный вопрос следует из простого анализа исторических тенденций. Здесь существует знаменитый закон Мура, одного из основателей компании ИНТЕЛ — главного мирового производителя компьютерных процессоров: среднее быстродействие передовых для своего времени ЭВМ удваивается примерно каждые полтора года. Но справедлива и другая закономерность, почти теорема, установлена в 70-е годы академиком Н.Н. Яненко: на любом уровне развития вычислительной машины остаются инвариантными понятия малой, средней и большой задач: малая — которая считается в пределах нескольких секунд или минут, средняя — время счета составляет несколько десятков минут, а большая требует для своего выполнения часы или десятки часов. Это явление легко объясняется народной мудростью, что аппетит приходит во время еды, или аналогией из противостояния в области «щит и меч»: развитие наступательного и оборонительного вооружений идет бок о бок, и успехи одной стороны незамедлительно подталкивают поиски средств их нейтрализации — с другой.

Так и практические потребности создания ядерного и ракетного оружия в свое время резко стимулировали качественный и количественный рост парка ЭВМ. Затем пришло понимание неизбежности принципиального усложнения математических моделей в самых разных сферах человеческого знания и нового роста требований к вычислительным ресурсам, которых всегда будет нехватать для решения непрерывно возникающих уникальных задач.

Если сейчас первые места в мировом списке «ТОП-500» самых мощных компьютеров занимают вычислительные системы с быстродействием в десятки и сотни терафлопс, то около 2010 года ожидается достижение знаменательной величины скорости в один петафлопс ( арифметических операций в секунду). Такие системы содержат тысячи процессоров, а под производительностью понимается пиковая, т. е. такая идеальная характеристика, когда все процессоры одновременно загружены и работают в соответствии со своими паспортными данными.

В жизни все бывает сложнее, и реальный коэффициент полезного действия сверхмощной вычислительной системы может составлять только проценты. Отсюда возникает проблема эффективного распараллеливания вычислений, где переплетаются и фундаментальные научные вопросы, и технологии, и искусство программирования.

История параллелизма возникла одновременно с появлением первой (механической!) машины для универсальных вычислений, автором которой является англичанин Чарльз Бэббидж (1791–1871 гг.), опередивший свое время на полтора столетия. Он вместе со своей верной соратницей Адой Лавлейс — дочерью великого поэта Байрона, которая по праву может считаться первым в мире программистом, уже тогда решали вопросы параллельной работы различных устройств для повышения общей производительности машины.

Очевидно, что изначальный подход к распараллеливанию вычислений заключается, говоря современным языком, в проектировании и создании такой архитектуры машины, чтобы она могла одновременно выполнять несколько операций, для чего она, как минимум, должна иметь несколько арифметических устройств (процессоров), а также средства коммуникации и управления. Однако, если компьютер уже создан, то для решения с его помощью какой-либо конкретной задачи надо придумать или выбрать такой алгоритм, который мог бы исполняться наиболее эффективно. Эта актуальная проблема в своей современной трактовке была сформулирована академиком Г.И. Марчуком еще в 70-е годы как «отображение алгоритмов на архитектуру вычислительной системы» (мировой лозунг — “mapping of algorithms on the computer architecture” — дословный перевод на английский язык).

Очевидно, что при непрерывном усложнении объекта все труднее им управлять. Поэтому задача программирования на многопроцессорной ЭВМ, или параллельное программирование, становится особенно сложной и актуальной.

Таким образом, проблема параллелизма является триединой: здесь переплетаются фундаментальные проблемы и вычислительной техники, и алгоритмов, и программирования.

## 2. Институт математики и ВЦ СО РАН: изначальные идеи

Сергей Львович Соболев при основании Института математики, носящего теперь его имя, пригласил из Москвы Э.В. Евреинова, уже имевшего опыт участия в разработке ЭВМ (за работы по созданию средств тайнописи и дешифровки радиосообщений в 1957 г. ему была присуждена «закрытая» Ленинская премия). В 1961–1962 гг. им была выдвинута и развита в многочисленных работах с коллегами и учениками пионерская идея об однородных вычислительных системах (ОВС).

Справедливости ради надо сказать, что проекты специализированных многопроцессорных компьютеров для параллельного решения частных математических задач (распознавание образов, решение алгебраических систем уравнений) к этому времени уже публиковались за рубежом. Концепция Э.В. Евреинова заключается в создании универсальной ЭВМ, состоящей из сети конструктивно идентичных элементарных машин (ЭМ), которая за счет параллельной работы ЭМ могла бы с высокой производительностью решать практически любые вычислительные задачи. Как развитие изначальной идеи, рассматривались однородные вычислительные среды с программируемой микроструктурой, позволяющей сочетать положительные качества как универсальных, так и специализированных машин.

В возглавляемом Э.В. Евреиновым Отделении вычислительной техники Института математики он, совместно с Ю.Г. Косаревым, В.Г. Хорошевым, Н.Н. Миренковым и другими проводил исследования принципов построения архитектуры ОВС и программного обеспечения, ориентированных на задачи с большим объемом вычислений и на их выполнение с автоматической настройкой на количество используемых ЭМ в сети. Любопытно, что уже тогда называлась величина достижимой в перспективе скорости вычислений операций в секунду (на современном языке — это быстродействие в один гигафлопс, почти предельное по частоте для однопроцессорного компьютера).

Можно считать удивительным, но авторам проекта удалось почти довести его до конца. Совместно с минским Институтом вычислительной техники был разработан и запущен в серийное производство типовой системный блок, позволяющий объединить выпускаемую большими тиражами ЭВМ Минск-22 в комплекс (Минск-222) и организовать их синхронную работу при совместном решении сложных задач. Новая машина была установлена в Институте математики Академии наук БССР, но дальнейшие практические успехи этого направления по различным причинам прекратились. После отъезда Э.В. Евреинова в Москву в 1971 году многие ведущие сотрудники Отделения вычислительной техники постепенно разошлись по другим институтам.

Из публикаций тех лет в Институте математики представляет интерес работа Ю.Г. Решетняка «О задаче соединения элементов вычислительной системы», навеянная идеями Э.В. Евреинова и посвященная проблеме оптимального способа коммутации различных ЭМ. В ней даны строгие математические определения коммутации сети (системы) различной кратности, пути в информационном графе вычислительной сети, оценки общего числа соединений, а также критерии и гипотезы оптимальности коммутации. Эта статья наметила ряд актуальных задач в теории компьютерных архитектур, и очень жаль, что она осталась одиночной.

Интересным явлением в жизни Института математики были работы будущего Нобелевского лауреата Л.В. Канторовича с Я.И. Фетом по созданию специализированной Арифметической Машины (АМ) для решения некоторых алгебраических задач. Надо сказать, что еще в довоенные и послевоенные годы Леонид Витальевич проявлял большой интерес к методологии вычислений и имел по этой тематике ряд интересных публикаций, а также предложений в правительственные органы. В 60-е годы им, совместно с Я.И. Фетом, была разработана концепция машины для быстрой реализации векторных операций и симплекс-метода при решении задач линейного программирования. Такое вычислительное устройство было спроектировано и создано в виде приставки к универсальной ЭВМ М-20. Этот комплекс обеспечивал ускорение расчетов для соответствующих задач в 5–10 раз. Однако его постигла незавидная судьба многих специализированных машин, разрабатывавшихся позже в различные годы, которые не смогли выдержать конкуренцию с универсальными компьютерами чисто по коммерческим соображениям.

В 60-е годы эпицентром развития информатики стал руководимый А.П. Ершовым Отдел программирования Вычислительного центра СО АН СССР. В частности, здесь друзьями по жизни В.Е. Котовым и А.С. Нариньяни были заложены основы теории параллельного программирования. Они предложили формальные модели памяти ЭВМ, оператора и информационной базы, а также параллельных

вычислительных процессов в целом. Над этими понятиями определяются функции управления метамодели «программа — вычислительная система», а также категории эквивалентности асинхронных процессов: функциональная по всем результатам, по информационному и/или логическому графам. Развитие моделей параллельных вычислений, при всей их кажущейся абстрактности, положили начало фундаментальным вопросам верификации и преобразований последовательных программ в параллельные, а также обоснованию новых тогда принципов конструирования вычислительных машин и сетей.

Важно отметить, что ВЦ эпохи своей юности был родоначальником ряда проектов, которые по своей сути являлись предшественниками современных параллельных вычислений, которые на современном языке отождествляются с понятием «высокопроизводительные вычисления» (общепринятый английский термин *high performance computing* однозначно понимается как «параллельные вычисления»). Здесь можно назвать автоматическую информационную станцию АИСТ-0, многомашинный программно-технический комплекс АЛЬГИБР, а также высокопроизводительную систему разделения времени на комплексе БЭСМ-6, составлявшем основу организованной здесь профессиональной машинной фабрики — Главного Производственного Вычислительного Центра (ГПВЦ).

### 3. Первые шаги распараллеливания

Вычислительная математика 60-х годов развивалась под знаменем неявных конечно-разностных методов для решения многомерных задач математической физики, предложенных изначально в совместных работах Писмана, Дугласа и Речфорда, а затем независимо открытым — в трактовке алгоритмов дробных шагов — Н.Н. Яненко. Впоследствии в нашей стране, благодаря работам Г.И. Марчука, А.А. Самарского и других российских ученых, неявные алгоритмы получили огромную популярность. Благодаря свойству абсолютной устойчивости, они позволили значительно быстрее решать как нестационарные, так и стационарные большие задачи. Появилась даже концепция, утверждающая, что за счет супералгоритмов мы «обгоним американцев», несмотря на отставание в вычислительной технике.

Еще в 65–66 гг. Г.И. Марчук и Н.Н. Яненко отмечали, что неявные алгоритмы могут быть так же успешно распараллелены на ЭВМ, как и явные. Появились параллельные версии методов решения вспомогательных трехдиагональных систем алгебраических уравнений, составляющих основу неявных схем. В 1979 г. Гурий Иванович объявил конкурс на первую в ВЦ СО АН СССР работу по распараллеливанию вычислений. Такой оказалась совместная публикация Г.И. Марчука и В.П. Ильина, доложенная в 1980 г. на Конгрессе ИФИП в Токио, в которой исследовались критерии эффективности распараллеливания алгоритмов для широкого класса задач математической физики.

Перешедший в ВЦ Я.И. Фет инициировал ряд совместных работ с прикладными математиками по проектированию специализированных вычислительных устройств для быстрого решения ресурсоемких типовых задач. Были предложены и исследованы ряд сеточных спецпроцессоров для решения многомерных краевых задач, вычислительная система для моделирования процессов переноса излучения методом Монте-Карло, ассоциативные процессоры для массовой обработки данных. Помимо научных публикаций, здесь был получен и ряд авторских свидетельств на изобретения.

## Литература

1. Горбаченко В.И. Нейрокомпьютеры в решении краевых задач теории поля. – М.: Радиотехника, 2003.
2. Ильин В.П. Вычислительная информатика: открытие науки. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1991.
3. Воеводин В.В., Воеводин Вл.В. Параллельные вычисления. – СПб.: «БХВ-Петербург», 2002. – 608 с.
4. Евреинов Э.В., Хорошевский В.Г. Однородные вычислительные системы. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1978.
5. Евреинов Э.В., Косарев Ю.Г. Однородные универсальные вычислительные системы высокой производительности. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1966.
6. Fet Y. Parallel Processing in Cellular Arrays // John Wiley & Sons Inc., 1955. – N 4.
7. Фет Я.И. Параллельные процессоры для управляющих систем. – М.: Энергоиздат, 1981.
8. Алексеев А.С., Глинский Б.М., Котелевский С.П. и др. История развития Сибирского Суперкомпьютерного Центра, его текущее состояние и перспективы развития. – Новосибирск: СибЖВМ, 2005. Т 8, № 3. – С. 179–188.
9. Бандман О.Л., Миренков Н.Н., Седухин С.Г. и др. Специализированные процессоры для высокопроизводительной обработки данных. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1988.
10. Ильин В.П., Руфицкий В.Н., Фет Я.И. Сеточный параллельный процессор. – Новосибирск, 1986. (Препринт / АН СССР. Сиб. отд-ние. ВЦ; 683).
11. Ильин В.П., Фет Я.И. Параллельный процессор для решения задач математической физики. – Новосибирск, 1979. – (Препринт / АН СССР. Сиб. отд-ние. ВЦ; 217).
12. Марчук Г.И., Котов В.Е. Модульная асинхронная развиваемая система (концепция). Ч. 1–2. – Новосибирск, 1978. – (Препринт / АН СССР: Сиб. отд-ние. ВЦ; 86, 87).
13. Marchuk G.I., Il'in V.P. Parallel computations in grid methods for solving mathematical physics problems // Proc. IFIP Congress / North-Holland Publ., 1980. P. 671–676.
14. Головяшкина Л.В., Назаралиев М.А., Фет Я.И. Специализированная вычислительная система для решения задач переноса излучения методом Монте-Карло. – Новосибирск, 1981. – (Препринт / АН СССР. Сиб. отд-ние. ВЦ; 333).
15. Косарев Ю.Г., Миренков Н.Н. Математическое обеспечение однородных вычислительных систем. – Новосибирск: Сиб. отд-ние АН СССР. ИМ // Вычислительные системы, 1974. – Вып. 58. – С. 61–79.
16. Миренков Н.Н. Параллельное программирование для многопроцессорных вычислительных систем. – М.: Радио и связь, 1989.
17. Котов В.Е. Введение в теорию схем программ. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1978.
18. Котов В.Е. Сети Петри. – М.: Наука, 1984.
19. Котов В.Е., Нариньяни А.С. Асинхронные вычислительные процессы над памятью // Кибернетика, 1966. – № 3. – С. 64–71.
20. Kotov V.E., Narinyani A.S. On transformation of sequential programs into asynchronous parallel programs // Proc. of IFIP Congress 68, Edinburg, 1968, Amsterdam, 1969. – P. 121–127.
21. Нариньяни А.С. Теория параллельного программирования (формальные модели) // Кибернетика, 1974. – № 3. – С. 1–15; № 5. – С. 1–14.
22. Вальковский В.А., Малышкин В.Э. Синтез параллельных программ и систем на вычислительных моделях. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1988. – 128 с.

23. Малышкин В.Э. Сборочные системы. – Новосибирск, 1992.– (Препринт / АН СССР. Сиб. отд-ние. ВЦ; 967).
24. Решетняк Ю.Г. Задачи соединения элементов вычислительной системы. – Новосибирск: Сиб. отд-ние АН СССР. ИМ // Вычислительные системы, 1962. – Вып. 3. – С. 17–30.
25. Алеева В.Н., Фет Я.И. Однородный процессор для массовых вычислений. – Киев, 1975 // Материалы IV Всесоюзной конференции «Однородные вычислительные системы и среды». — Ч. 1. – С. 251–252.
26. Алеева В.Н., Ильин В.П., Кузнецов И.Б., Школьник К.М. Особенности распараллеливания методов решения разностных уравнений на ПС-2000. – Новосибирск, 1985. – (Препринт / АН СССР. Сиб. отд-ние. ВЦ; 560).

*(Текст приводится по книге:*

*Институт вычислительной математики и математической геофизики (ВЦ) СО РАН:  
Страницы истории / отв. Ред. Б.Г. Михайленко; Рос. Акад. наук, Сиб. отд-ие, Ин-т  
вычислительной математики и математической геофизики.- Новосибирск: Академическое изд-  
во «Гео», 2008. -612 с.)*