

Всеволод Бурцев и суперЭВМ

Тамара Бурцева, Леонид Карпов, Вера Карпова

В одной из своих лекций Всеволод Бурцев определил суперЭВМ как «ЭВМ с наивысшей среди других производительностью, разработанную с предельным интеллектуальным напряжением». Всю свою жизнь этот великий конструктор работал именно над такими ЭВМ.

К 1951 году, когда В.С.Бурцеву пришлось время заканчивать Московский энергетический институт, он уже год работал в институте точной механики и вычислительной техники (ИТМиВТ АН СССР), готовясь к защите дипломного проекта и участвуя в разработке одного из узлов БЭСМ (большой электронной счетной машины). Директором института в то время был академик М.А.Лаврентьев, а заведующим лабораторией №1, которая непосредственно занималась разработкой цифровой вычислительной техники, был член Академии наук Украины С.А.Лебедев. Именно Лебедев, обладавший удивительной способностью распознавать таланты среди молодых студентов, пригласил отобранную им группу из девяти старшекурсников МЭИ для работы над дипломными проектами. Двое из них: В.С.Бурцев и В.А.Мельников стали впоследствии академиками. Первым заданием для студентов было создание эскизного проекта БЭСМ. Задание было выполнено к весне 1951 года. Свою часть работы В.С.Бурцев защищал в качестве дипломного проекта по теме «Управление системой команд БЭСМ». Уже в то время в работе Бурцева проявилась склонность к созданию надежных решений, например, при разработке проекта БЭСМ он предложил схему триггера, которая была несколько менее быстродействующей, но гораздо надежней современных аналогов.

Отношение к цифровой вычислительной технике в то время было достаточно наивным, даже со стороны ведущих разработчиков. Члену комиссии по приемке БЭСМ А.А.Дородницыну (будущему директору ВЦ АН СССР) запомнился, например, спор, возникший на одном из заседаний. Главный конструктор машины «Стрела» (СКБ-245), которая в определенной степени была конкурентом БЭСМ, Юрий Базилевский заявил, что его машина, обладая производительностью 2 тыс. трехадресных операций в секунду, за четыре месяца решит все задачи, имеющиеся в стране, и БЭСМ с ее производительностью в 8–10 тыс. операций/с делать будет нечего. Сергей Лебедев, однако, парировал, что из-за низкой производительности «Стрела» не успеет просчитать задачу за время между двумя сбоями и будет выдавать неверные решения, а БЭСМ успеет.



За участие в работах по БЭСМ Бурцев был награжден орденом Ленина, а его большой опыт в создании этой системы позволил провести исследовательскую работу по первой отечественной цифровой управляющей вычислительной машине, обеспечившей снятие данных с радиолокатора, их обработку и визуализацию траектории движения. В своей лекции в Политехническом музее в 2004 году Бурцев вспоминал: «Мы поехали с Лебедевым в НИИ-17 к Виктору Васильевичу Тихомирову, главному конструктору самолетных радиолокационных средств. Он выделил нам станцию обзорного действия “Топаз”, установленную на самолете для прикрытия хвоста бомбардировщика.

На этой станции мы снимали данные с радиолокатора обзорного действия и впервые в мире создали систему одновременного сопровождения до десяти целей. В 1955 году мы создали две дискретные вычислительные машины «Диана-1» и «Диана-2», первая из

которых оцифровывала данные по цели и истребителю, а вторая управляла наведением истребителя на самолет противника».

Перелом

Успех экспериментов по съему данных с радиолокационных станций в корне изменил структуру отечественных управляющих противоракетных и противосамолетных комплексов. Еще в разгар работ над машинами «Диана-1» и «Диана-2» Лебедев сделал Бурцеву предложение, ставшее переломным в судьбе конструктора,— построить высоконадежные вычислительные комплексы для систем реального времени. В то время Лебедев работал с полковником Григорием Васильевичем Кисунько, назначенным главным конструктором системы противоракетной обороны и подыскивавшим коллектив, способный разработать ЭВМ, которая значительно превосходила бы при решении задач обеспечения национальной безопасности имеющиеся на тот момент БЭСМ и «Стрелу». В итоге Кисунько рискнул поручить эту работу молодому академическому институту (ИТМиВТ АН СССР), не имевшему опыта внедрения научных разработок в промышленность, а Лебедев, хорошо представивший себе все трудности на пути создания опытного образца ЭВМ, а потом и ее серийного изготовления, проявил немалую смелость, подключив к работе своих сотрудников во главе с Бурцевым..

Сложнее всего было обеспечить высокую точность попадания по цели (наведение с точностью не менее 25 м) и временную синхронизацию данных системы, в особенности выдачу сигнала подрыва противоракеты с точностью до микросекунд. Разработанная коллективом под руководством Бурцева система съема данных с радиолокационной станции обзорного действия и сопровождения в дискретном виде одновременно нескольких целей была использована Кисунько при решении задачи уничтожения баллистической ракеты. В 1957 году была создана ЭВМ М-40 с быстродействием 40 тыс. операций/с, а в 1959 году— М-50 с производительностью 50 тыс. операций/с (в то время это были самые быстродействующие отечественные ЭВМ).

Машины серии «М» имели развитую систему прерываний, могли осуществлять прием и передачу данных по семи дуплексным асинхронно работающим каналам с общей пропускной способностью в 1 Мбит/с. Для М-50 имелась также модификация под индексом 5Э92, которая была рассчитана на применение в комплексах обработки данных. Впервые в мире в вычислительной сети использовались мультиплексные каналы и осуществлялась параллельная работа устройств управления, оперативного запоминающего устройства, внешних устройств и каналов связи. По структуре и принципу работы это была первая в мире многопроцессорная система. По пяти асинхронно работающим каналам осуществлялся обмен информацией с объектами, находящимися от М-40 на расстоянии от 100 до 200 километров. Система регистрации боевой работы давала возможность в реальном масштабе времени анализировать каждый пуск.

Система «А»

Работы по теме ПРО (система «А») сыграли огромную роль в развитии вычислительной техники в СССР: используя относительно медленную элементную базу, специалисты ИТМиВТ создали вычислительные средства, превосходящие по своим параметрам зарубежные. Важность этих работ ИТМиВТ для обеспечения национальной безопасности страны была столь высока, что в начале 1960-х годов институт был выделен из системы Академии наук и вошел в состав ведомств, ориентированных на создание радиотехнических средств. В открытых источниках институт продолжал называться академическим (для сотрудников даже сохранили преимущества принадлежности к Академии наук, в том числе увеличенные отпуска для кандидатов и докторов наук), но

вскоре в служебных документах он стал фигурировать как ИТМиВТ Министерства радиопромышленности СССР.

В 1959 году была построена вычислительная сеть из ЭВМ, отстоящих друг от друга на сотни километров— аналогичных комплексов за рубежом тогда не было. Главный командно-вычислительный центр системы «А» строился на базе ЭВМ 5Э92. Сама вычислительная сеть носила уникальный характер, именно она послужила отправной точкой исследований, приведших впоследствии к созданию других глобальных информационно-вычислительных сетей. Конечно, сама эта сеть еще мало напоминала, например, современную Internet, но как совокупность независимых машин, решающих независимые фрагменты общей задачи и обменивающихся информацией по унифицированным протоколам, ее можно считать предтечей нынешних глобальных сетей. Первая аналогичная сеть, связавшая два компьютера TX-2 в Массачусетсе и Q-32 в Калифорнии по телефонной линии, была опробована лишь в 1965 году.

4 марта 1961 года состоялись успешные испытания противоракеты экспериментального комплекса ПРО — был уничтожен боевой блок ракеты Р-12. Эксперимент показал, что задача борьбы с парными баллистическими целями, состоящими из корпуса баллистической ракеты и отделявшегося от нее боевого блока с ядерным зарядом, технически решена. Аналогичные испытания в США прошли на 21 год позже.

Благодаря успешным результатам испытаний системы «А» удалось к июню 1961 года завершить разработку эскизного проекта боевой системы ПРО А-35, предназначенной для защиты Москвы от ракет типа «Титан-2» и «Минитмен-2». На базе новых решений в 1966 году рядом со столицей построили боевые вычислительные комплексы, связанные между собой высокоскоростными линиями передачи данных общей протяженностью более тысячи километров.

За разработку вычислительных средств системы ПРО (ЭВМ М-40 и М-50) Лебедев и Бурцев в 1966 году были удостоены Ленинской премии.

С 1961 по 1968 год под непосредственным руководством Бурцева для создания сложных боевых систем в ходе работ над системой ПРО разрабатывается первая высокопроизводительная полупроводниковая ЭВМ 5Э92б, основанная на полном аппаратном контроле вычислительного процесса и обеспечивающая повышенную структурную надежность и достоверность выдаваемой информации. В этой системе был реализован принцип многопроцессорности, внедрены методы управления внешними запоминающими устройствами, позволявшие осуществлять параллельную работу нескольких машин с единой внешней памятью. Все это дало возможность по-новому строить вычислительные управляющие и информационные комплексы для систем многоцелевого назначения.

При работе над 5Э92б особое внимание уделялось надежности и устойчивости комплекса к сбоям и отказам отдельных подсистем, их узлов и устройств. Центральный многомашинный комплекс строился на базе двенадцати ЭВМ 5Э92б, две из которых находились в состоянии «горячего» резерва со скользящим резервированием и в течение нескольких сотых долей секунды были готовы заменить любую вышедшую из строя ЭВМ. Шесть машин комплекса решали задачу обнаружения целей по данным радиолокатора дальнего действия и построения их траекторий, еще четыре машины управляли системой, в частности распределяли цели по стрельбовым комплексам. Производительность 5Э92б достигала 0,5 млн. операций/с, объем памяти составлял 32К 48-разрядных слов. Машины 5Э92б выпускались серийно с 1966 года. Благодаря своей удивительной надежности некоторые из них до сих пор продолжают работать в вычислительных центрах как специализированные коммутаторы информационных потоков.

В 1967 году начался серийный выпуск разработанных под руководством Бурцева ЭВМ 5Э51, представлявших собой модернизированный вариант 5Э92б. Эти машины применялись в мощных вычислительно-информационных центрах повышенной надежности. Один из таких четырехмашинных комплексов работал в Центре контроля

космического пространства. В ИТМиВТ машины 5Э51 использовались как моделирующие комплексы, на которых при создании ЭВМ новых поколений работали системы автоматизации проектирования. Например, работала система автоматизации проектирования многопроцессорных вычислительных комплексов «Эльбрус».

Система С-300П

В 1969 году Бурцев стал главным конструктором новой серии из нескольких цифровых управляющих вычислительных машин, предназначенных для использования в мобильной противосамолетной системе С-300П. Первоначально в серию входили только две ЭВМ — 5Э261 и 5Э262 (уменьшенный по габаритам и объему памяти вариант). Эти системы имели три центральных процессора и были построены по модульному принципу. Все модули (центральные процессоры, устройства обмена, блоки оперативной памяти и памяти команд) были охвачены внутренней системой полного аппаратного контроля, позволяющей не только резервировать модули в случаях сбоев и отказов, но и проводить автоматическую реконфигурацию вычислительных комплексов непосредственно в процессе выполнения боевой задачи.



Производительность комплекса была сравнима с показателями БЭСМ-6, однако для его размещения вместо 200м² требовалось лишь 3м² пространства. Новый комплекс, появившийся позже БЭСМ-6, вполне можно было рассматривать как базу для очередной серии суперЭВМ, следовало только обратить внимание на их размер и неприхотливость— эти машины были предназначены для работы не в стерильных условиях машинных залов вычислительных центров, а в крытых кузовах грузовиков, двигавшихся по бездорожью.



Сам комплекс ПВО С-300П разрабатывался под руководством Бориса Васильевича Бункина, который был очень высокого мнения о работах Лебедева и Бурцева. Бурцев вспоминал, как однажды на полигоне Бункин отчитывал своих разработчиков за большое число отказов в работе цифровой техники, а в ответ на их оправдания и ссылки на недостаточную надежность интегральных схем заметил: «Все интегральные схемы одинаковые, однако у вас они отказывают, а у вычислителей (из ИТМиВТ) отказов нет». С появлением новой элементной базы в середине 80-х годов для системы С-300П были разработаны программно совместимые с первыми моделями серии ЭВМ 5Э265 и 5Э266 (также уменьшенный в габаритах и по объему памяти вариант), ставшие самыми массово выпускаемыми вычислительными машинами СССР. Всего было выпущено около 1,5 тыс. экземпляров.

Цель— 100 миллионов операций в секунду

В 1973 году Лебедев предложил Бурцеву заменить его на посту директора ИТМиВТ, в котором развернулись работы над многопроцессорным вычислительным комплексом (МК) «Эльбрус». Уникальные по структуре и качеству разработки для системы С-300П стали для Бурцева шагом на пути к созданию сверхбыстродействующего вычислительного комплекса суммарной производительностью около 100 млн. операций/с. Именно такую

производительность требовалось по расчетам Кисунько достичь при детальном анализе отраженного сигнала в новой системе ПРО.

МВК «Эльбрус» создавался в два этапа:

- на первом обрабатывались новые архитектурные принципы, включая программное обеспечение;
- на втором наряду с принципами архитектуры обрабатывалась новая конструкторско-технологическая база.

Первый этап завершился реализацией десятипроцессорного МВК «Эльбрус-1» производительностью 15 млн. операций/с на элементной базе от ЭВМ 5Э261 и 5Э262. На втором этапе был создан МВК «Эльбрус-2» производительностью 120 млн. операций/с и объемом памяти 160Мбайт.

Снова Академия

После окончания разработки МВК «Эльбрус-2» и успешного завершения государственных испытаний Бурцев перешел на работу в Вычислительный центр коллективного пользования АН СССР. Новая работа позволила переключиться на научную деятельность и, вместо того чтобы пытаться искать небольшие (пусть и важные) улучшения уже найденных им в прошлом технических решений, Бурцев решил добиваться существенного пересмотра взглядов на архитектуру вычислительных машин и реализуемых ими вычислительных процессов. Он предложил схему распараллеливания хода вычислений за счет новых аппаратных решений, основанных на современных принципах оптической обработки информации.

Созданная схема вычислительного кольца, в которое включались исполнительные устройства и ассоциативная память операндов, оказалась и технически реализуемой, и перспективной для внедрения новых технологий, да и просто красивой. Для распространения электрических сигналов необходимо использовать большое количество проводников, превращающихся на сверхвысоких частотах в излучающие антенны, поэтому Бурцев предлагал использовать для новых архитектур обычный свет, способный освещать элементы памяти, построенные на принципах ассоциативного доступа. Теоретически предложение Бурцева позволяло поднять производительность вычислительных машин до 10¹⁰ операций/с. Впоследствии Бурцев доказал, что внедрение новых физических принципов позволит поднять производительность до 10¹⁴.

С 1993 по 1997 годы Бурцев был директором Института высокопроизводительных вычислительных систем РАН, а с 1998 года работал советником президента РАН. Умер В.С. Бурцев 14 июня 2005 года.