

## **В России создан гетерогенный суперкомпьютер производительностью 100 триллионов операций в секунду**

***Интервью директора Института прикладной математики им.  
М.В. Келдыша РАН члена-корреспондента РАН Б.Н. Четверушкина***

*На создание этой ЭВМ президент РАН Ю.С. Осипов в апреле текущего года попросил у премьер-министра В.В. Путина финансовую поддержку в размере 65 миллионов рублей. Средства были выделены и – к назначенному сроку (к концу года) машина создана.*

*Тут есть чему удивиться: ведь в мировой практике стоимость создания суперкомпьютера на порядки выше! Но – таков результат применения российскими учеными «новой математики». Заодно и энергопотребление машины также оказалось значительно меньше.*

*Почему так важно, чтобы Россия не была аутсайдером в мировом суперкомпьютерном рынке? Потому что XXI век – век создания сложнейших научно-технических систем – энергетических, атомных, космических, авиационных и др. – и лидерство в этой гонке во многом обеспечат именно суперкомпьютеры. Поэтому они включены в стратегию ведущих держав как важнейший элемент национальной безопасности – речь не об оборонной технике только, а в целом – об ускорении научно-технического прогресса. И Совет безопасности РФ в прошлом году также принял решение о перевооружении основных отраслей промышленности на основе суперкомпьютерных технологий. Так что достижение российских математиков вселяет надежду.*

**– Борис Николаевич, чем отличается суперкомпьютер от обычного компьютера?**

– Производительностью. 1 триллион (1000 миллиардов) операций в секунду называется – 1 терафлопс (TFLOPS), а 1000 терафлопс – это 1 петафлопс (PFLOPS). Производительность машины К-100, созданной Институтом прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН – 100 терафлопс.

Отличие и в использовании. На обычном компьютере мы работаем с документами, с Интернетом, с электронной почтой. Ученый, конечно, решит и серьезную задачу, если сумеет составить простую, малозатратную по вычислениям модель. Но для сложных научных, промышленных, экологических задач ресурс РС мал – надо считать на суперкомпьютере.

Счет суперкомпьютера ускоряет «распараллеливание» вычислений, и это также отличие: в нем задачи решаются вообще иначе. Счет по задаче – параллельно по разным ее частям – одновременно ведут множество процессоров, аналогичных нашим персональным компьютерам.

Однако от этого, во-первых, сразу взлетает стоимость суперкомпьютера: для производительности 1 петафлопс – это несколько миллиардов рублей. И, во-вторых, зашкаливает энергопотребление: для петафлопного комплекса – это 5-7 мегаватт, а при приближении (на тех же принципах) к производительности 10 петафлопс потребуется рядом ставить электростанцию. Это настолько серьезные затруднения, что сейчас весь мир ищет пути их преодоления.

В частности, «распараллеливание» вычислений пытаются обеспечить за счет многоядерности процессора. Уже на следующий год Intel обещает ввести 16-ядерный процессор, разрабатывают и 48-ядерные процессоры. А графические платы, которые ранее использовались как игровые приставки, сейчас имеют уже несколько сотен.

Сейчас возникла идея гибридных (или гетерогенных) компьютеров: не только у нас, но и в Европе, в Китае. В них в одном узле объединены процессоры обычные, общего назначения и графические платы. Т.е. компьютеры, как части системы, могут быть крайне разнообразны – по типу процессоров, по размеру памяти, по производительности каналов ввода-вывода.

Однако, оказалось: «сделать математику» для многоядерных процессоров очень сложно – ядра, поскольку их много, «мешают» друг другу. И математикам надо очень крепко подумать, чтобы параллельные вычисления суперкомпьютеров (с десятками тысяч компьютерных ядер и выше) одинаково эффективно загружали узлы и процессоры системы. И, к тому же, чтобы при этом выигрыш в счете не терялся в соединительной сети, т.е. при перебрасывании процессорами информации другу другу (также – проблема современных суперкомпьютеров). Вот так, в Институте прикладной математики РАН, находя свои варианты решений, алгоритмы, т.е. создавая «другую математику» – предложили новый тип суперкомпьютера.

**– Известны язвительные выпады, что, мол, Российская академия наук в суперкомпьютерных технологиях ничего создать не может. Не рискованно ли было обращаться с заявкой к премьер-министру? – А вдруг с суперкомпьютером не получилось бы?**

– Обращаясь к премьер-министру, мы имели научный задел. В течение нескольких лет на скудные средства Программ РАН и Фонда фундаментальных исследований был создан небольшой прототип гибридного компьютера, разработаны базовые алгоритмы и в результате наши ученые поняли: можно брать за суперкомпьютер 100 терафлопс! Вот почему на деньги, выделенные правительством, систему установить удалось, да еще и в короткий срок.

За плечами огромный опыт: ведь уже в 50-е годы Институт прикладной математики разработал машину «Стрела». С тех пор этот коллектив всегда считал

большие задачи и глубоко понимал связь архитектуры с вычислительными алгоритмами. А 12 лет назад институт совместно с НИИ «Квант» создал первую отечественную супервычислительную систему МВС-1000, установленную в суперкомпьютерном центре Президиума РАН. Последовали ее модификации. Необходимо отметить: мотором во всей этой работе были член-корреспондент А.В. Забродин и академик В.К. Левин.

Создание суперкомпьютера К-100 потребовало решения ряда фундаментальных проблем в области алгоритмов и математического обеспечения. Скажем, когда компьютер включает десять тысяч процессоров и выше, алгоритмы приходят в состояние своеобразного насыщения. Возникают проблемы и с генерацией расчетных сеток сверхбольшого объема, с корректностью исходных методов и моделей. Корректность важна, чтобы понять: когда считаем разного рода неустойчивости, например, турбулентность, то, что именно мы получаем – искусственную «болтанку» или это соответствует реальности? Очень серьезные проблемы возникают с языками программирования, с учетом новейших архитектур.

Но, как оказалось, в Академии наук есть научные силы, способные решить названные проблемы. Если не остановимся, пойдем к следующему поколению машин, Россия станет одним из основных игроков на рынке пакетов программ для высокопроизводительных вычислений. Созданные на основе фундаментальных разработок пакеты программ – и есть главное в современной вычислительной машине.

Кстати, наши специалисты в области вычислительной техники предложили «межузельную» коммутационную систему, превосходящую по ряду параметров зарубежные аналоги.

#### **– Зачем нужны суперкомпьютеры?**

– Расчеты на них способны учесть как сложную геометрию, так и огромное количество факторов в их пространственных и временных изменениях, т.е. как бы воспроизводят сам реальный процесс.

Это, например, квантово-механические расчеты, моделирование систем на атомарном уровне, моделирование процессов старения ядерных материалов (при хранении ядерного оружия). Для проектирования наносистем такое моделирование часто оказывается единственным подходом, поскольку квантовые явления замерить трудно.

Возьмем, к примеру, проблему увеличения выхода нефти через закачивание в подземные горизонты воды для повышения давления. Нефтяники знают: иногда вода (за счет меньшей вязкости) может прорваться к откачивающим скважинам и вместо нефти мы будем откачивать эту же самую воду. Но если рассчитывает

процесс мощная вычислительная машина, если она же, в помощь оператору, ведет мониторинг с учетом структуры геологического пласта и предыстории добычи, то выход нефти увеличивается на несколько процентов, что для нефтяного бизнеса очень существенно.

Расчеты снижения аэродинамического сопротивления фюзеляжа летательных аппаратов уменьшают необходимость в дорогостоящих экспериментах на аэродинамических трубах. С областью аэродинамики и гидродинамики связаны и важнейшие оборонные задачи.

Суперкомпьютеры нужны в метеорологических исследованиях, в биотехнологиях, в фармацевтике, в финансах. Исключительно важно моделирование работы человеческого мозга, нахождение новых методов диагностики заболеваний человека и способов лечения. Эта задача – огромной государственной важности и заверяю: российские ученые смогут создать вычислительную технику, а также матобеспечение и программы для быстрых и относительно дешевых расчетов массового медицинского применения.

Словом, как ЭВМ 60-х и 70-х годов решали самые важные задачи, стоящие тогда перед страной, также прорывным задачам послужат и современные суперкомпьютеры. Производственные компании скоро убедятся, что они значительно ускоряют и удешевляют научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, поскольку, зачастую, позволяют, минуя опытно-экспериментальную фазу, сразу после расчета оценить эффективность конструкции или технологии и даже непосредственно внедрять исходную идею в производство. А это и есть инновационное развитие, ускорение модернизации. Пройдет пять-семь лет и 100-терафлопные машины, словно настольный инструмент в лабораториях, в конструкторских бюро – найдут массовое коммерческое применение экономике.

**– Не так давно Академия наук и Федеральная сетевая компания Единой энергетической системы подписали соглашение о грандиозной программе по созданию так называемых «умных сетей», т.е., образно говоря, по превращению всей системы электросетей страны в «единый думающий компьютер». Будут ли здесь использованы суперкомпьютеры?**

– Это проблема «метакомпьютинга»: с помощью математических методов выделить в большой задаче слабо связанные узлы, т.е. как бы разрезать ее на сочленения (или искусственно построить эти сочленения), чтобы задачу можно было решать на суперкомпьютерах, расположенных в разных регионах страны.

В программе «умные сети» должна быть задействована вообще вся математическая школа Академии наук.

Первая машина К-100, о которой идет речь, в ближайшее время будет полностью загружена расчетами самого Института прикладной математики РАН, потому что если не «прокрутить» ее на научных задачах – не удастся применить и на производстве.

И все же создатели суперкомпьютеров – и у нас, и за рубежом – столкнулись с проблемой: примеров, когда задача задействует мощность машины более 100 терафлопс – очень мало. Чтобы проснулся массовый коммерческий спрос, пользователей надо «приучать» к новым вычислительным возможностям. И, к счастью, это делает федеральный ядерный центр в Сарове, оснащающий промышленность пакетами программ и минисуперЭВМ производительностью 5-10 терафлопс (лет семь назад это казалось пиком производительности).

### **– Каково положение России в мировой динамике создания суперкомпьютеров?**

– Гонка стремительная: суперкомпьютер, до того, как морально устаревает, живет всего лет пять. Самый мощный суперкомпьютер по последнему списку TOP500 (ноябрь 2010 г.) – китайский комплекс Tianhe-1A: 4,7 PFLOPS. На втором месте суперЭВМ Cray XT5 Jaguar (США): 2,3 PFLOPS. Системы, приближающиеся к такой производительности, собираются делать в Японии, в Испании, в МГУ им. М.В. Ломоносова.

Мы не «впереди планеты всей», но в ряду передовых стран. С нами считаются, приглашают с докладами на основные международные конференции, впрочем, мы и сами проводили несколько конференций. Что же касается идей, методов, алгоритмов, программных средств, то тут нам стесняться нечего – мы на переднем крае, выступаем на равных со специалистами развитых стран.

Об отставании: степень полезности вычислительных систем – математики это знают – растет, грубо говоря, как корень четвертой степени из производительности. Поэтому отставание от ведущих конкурентов в пиковых производительностях машин в несколько раз – не страшно, оно компенсируется хорошими идеями в алгоритмах, в матобеспечении. Но отставание в несколько десятков раз – опасно, хотя корень четвертой степени из производительности все еще возрастает на небольшую величину. Просто в сфере новых проблем, стоящих перед пользователями, математиками, программистами мы уже перестанем понимать, где надо работать.

Сегодня с огромным энтузиазмом над тематикой суперкомпьютеров работает наша научная молодежь – осваивает непростые языки программирования, преодолевает трудности по насыщению системы своими алгоритмами, но у молодежи есть какое-то чутье на перспективность темы.

Страшно разрушить эту творческую научную среду, генерирующую алгоритмы и подходы. Предположим: не будет людей, которые выдают идеи, уйдут они из академической науки и начнут в коммерческих фирмах делать пакеты прикладных программ (вполне вероятная перспектива). Значит, следующую генерацию идей мы проиграем. Такой провал в развитии науки восстановить очень-очень сложно. Мы будем вынуждены ждать развития идей в других странах и с большим трудом их воспринимать, поскольку легко лишь тем, кто думает над этими же проблемами и потому сразу схватывает суть.

Шансы войти в лидирующую группу стран по данной проблеме пока еще есть. Во-первых, развитие идей в области методов, матобеспечения и увеличение мощности вычислительной техники должно быть дополнено созданием коммерческих компаний, воплощающих эти идеи, передающих их массовому пользователю. И, во-вторых, нужна хотя бы небольшая помощь. Если в течение трех лет вкладывать, скажем, по 50 млн. рублей в год в работы по развитию матобеспечения и численных методов для перспективных вычислительных систем, научной школе можно было бы придать сильный импульс.

#### **– Что в перспективе?**

– В начале 50-х с появлением первых ЭВМ буквально за несколько лет были созданы основы современной прикладной математики. Вот и сегодня развитие суперкомпьютеров сулит блестящие перспективы математического моделирования во всех сферах науки и техники.

В ближайшие годы весь мир будет развиваться в названных направлениях: преодоление энергетических барьеров, многоядерность, гетерогенная структура. Российские ученые, надеемся, скоро разработают алгоритмику и матобеспечение для этих систем, и дальше реальным будет ставить вопрос о создании пакетов программ и о передаче их в промышленность. Образно говоря, Академия наук, словно фронтальная разведка, идет в период затишья вперед и тем обеспечивает последующее широкое наступление всей армии. Это может сделать только Академия наук, она для этого создана.

И о перспективах ближайших: Российская академия наук намерена вплотную приступить к созданию суперкомпьютера мощностью 1 петафлопс.

*январь 2011*

Беседовал **Сергей Шаракшанэ**

E-mail: [sash\\_50@mail.ru](mailto:sash_50@mail.ru)

Сайт: <http://sergey-sharakshane.narod.ru>