

# Назад к мейнфреймам?

Сергей Павлов, к.ф.-м.н. (Observer)

sergey@cadcamcae.lv



“Думаю, что на мировом рынке мы найдем спрос для пяти компьютеров.”  
Thomas Watson, директор компании IBM, 1943 г.

“В будущем компьютеры будут весить не более полутора тонн.”  
“Popular Mechanics”, 1949 г.

“Я изъездил эту страну вдоль и поперек, общался с умнейшими людьми и я могу вам ручаться в том, что обработка данных является лишь причудой, мода на которую продержится не более года.”  
Редактор издательства “Prentice Hall”, 1957 г.

## Нужен ли конструктору суперкомпьютер?

За последние пятнадцать лет CAD-системы для персональных рабочих станций вытеснили программы для больших ЭВМ, и конструкторы постепенно забыли о существовании мейнфреймов. Сегодня подавляющее большинство заинтересованных лиц – как экспертов, так и простых пользователей – горячо обсуждают возможности и перспективы развития именно персональных систем. Так может зря нас уверяют философы, что развитие идет по спиральной траектории?

И действительно, к чему помнить о питающихся перфокартами капризных вычислительных монстрах, заполняющих собой несколько просторных залов, когда на наших столах тихо и надежно трудятся их изящные и мощные аналоги? Производительность современных ПК непрерывно возрастает, а общаться с ними вполне удобно напрямую, без посредничества операторов в белых халатах и высоколобых компьютерных “жрецов”. Ну а тем, кто желает освежить в памяти конец 80-х – начало 90-х годов, автор предлагает взглянуть на рис. 1. Эта фотография “машинного зала” конкурентоспособной для своего времени советской электронно-вычислительной машины БЭСМ-6 выглядит сейчас едва ли не археологической находкой...

Однако, если копнуть поглубже, то выясняется, что логика развития автоматизированного проектирования заставляет нас по-новому взглянуть на аппаратные средства, необходимые сегодня для разработки всё усложняющихся изделий. За последнее



Рис. 1. БЭСМ-6

время в повседневную практику проектирования вошел целый ряд задач сложного нелинейного инженерного анализа, в том числе:

✓ Изучение временной зависимости напряженного состояния и деформации конструкции изделия при помощи систем нелинейного конечно-элементного анализа (*Finite Element Analysis – FEA*). Это позволяет заменить натурные эксперименты с полноразмерными образцами изделий компьютерным моделированием при различных видах нагружения (в том числе ударных). В качестве примера можно привести применяемые в автомобильной промышленности компьютерные *crash*-тесты проектируемых транспортных средств с целью повышения их безопасности.

✓ Изучение обтекания конструкции воздушным потоком с использованием систем гидрогазодинамических расчетов (*Computational Fluid Dynamics – CFD*). Применение таких систем в автомобильной и авиационной промышленности дает возможность, например, при поиске оптимальной обтекаемой формы проектируемого изделия использовать компьютерное моделирование вместо натурных экспериментов в аэродинамической трубе.

При решении вышеупомянутых задач для обеспечения эффективности всего цикла проектирования в целом требуется достаточно глубокая интеграция соответствующих CAD- и CAE-систем. Об активной работе в этом направлении ведущих поставщиков CAD-систем свидетельствуют события нескольких последних месяцев (более подробно об этом можно прочитать в прошлом и нынешнем номерах нашего журнала):

✓ UGS сообщила об интеграции системы инженерного анализа *I-deas* в пакет *NX4*, став, таким образом, первой компанией среди ведущих разработчиков САПР, успешно завершившей объединение двух разнородных программных комплексов. Кроме того, на рынок MCAD-систем среднего уровня компания выпустила комплект *UGS Velocity Series*, в который интегрирована система *Femap Express* для оперативного линейного конечно-элементного анализа в процессе проектирования.

✓ *Dassault Systèmes*, поглотившая крупного игрока на рынке сложных нелинейных инженерных расчетов и своего многолетнего партнера *ABAQUS*, объявила о введении нового бренда – *SIMULIA*.

Это не только название новой универсальной платформы для *реалистического моделирования процессов*, над разработкой которой активно работает компания, но и явный признак повышения статуса комплекса решений для инженерного анализа в линейке предлагаемых продуктов.

В этой связи возникает закономерный вопрос – на какое же аппаратное обеспечение ориентируются разработчики мощных интегрированных CAD/CAE-систем?

На протяжении своей пятилетней истории *Observer* вместе со своими читателями внимательно следил за совершенствованием рабочих станций для автоматизированного проектирования, а также за конкурентной гонкой процессорных компаний *Intel* и *AMD*. Недавно у современных рабочих станций появились *гиперпоточные* и *двухъядерные* “мозги” (об этих достижениях можно прочитать в предыдущем номере журнала), что уже в обозримой перспективе позволит обеспечить мультипроцессорную обработку задач инженерного анализа на настольных рабочих станциях. Однако, опыт показывает, что **во многих случаях производительности даже новейших персональных рабочих станций недостаточно** для решения задач современного уровня сложности при помощи интегрированных систем проектирования.

Более вероятно, что новые настольные **CAD/CAE-станции** на базе процессоров с несколькими ядрами в перспективе станут **интеллектуальными терминалами** современных мейнфреймов – то есть, **суперкомпьютеров**. При помощи существующих сетевых технологий удаленный доступ к суперкомпьютерным системам можно получить уже сегодня. (Не будем забывать, что столь популярный ныне интернет в общем-то является своеобразным побочным продуктом реализации идеи удаленного доступа американских университетских и исследовательских центров к вычислительным ресурсам суперкомпьютерных центров через сеть *ARPANET*).

Действительно, для эффективного проектирования сложных изделий необходимо иметь возможность сочетать инженерный анализ моделей различной сложности, часть из которых “по зубам” настольному компьютеру, а часть – только суперкомпьютеру. Неудивительно, что у большинства софтверных компаний, занимающихся разработкой CAE-приложений, имеются варианты решений как для рабочих станций, так и для суперкомпьютеров. При этом, в качестве технологических партнеров выступают как производители процессоров и системного программного обеспечения для рабочих станций (в первую очередь *Intel*, *AMD* и *Microsoft*), так и “суперкомпьютерщики” – разработчики технологий **высокопроизводительных вычислений** (*High-Performance Computing* – **HPC**). Поскольку четкие грани специализации за весь период существования суперкомпьютерной отрасли обозначить достаточно сложно, просто перечислим пятерку ведущих компаний мира в этой области: *IBM*, *Hewlett-Packard*, *SGI*, *Cray*, *Dell* (см. приведенный ниже рейтинг). Названия этих компаний,

вероятно, на слуху у конструкторов. К примеру, *IBM*, помимо основных своих “подвигов”, известна как долгодетный партнер *Dassault Systèmes*, а на сайтах *HP*, *SGI* и *Cray* имеются специальные разделы, посвященные CAE-решениям. Кстати, компания *SGI* в начале года объявила о поставке **CAE-суперкомпьютера** (148 процессоров *Intel Itanium 2*) для корейских автомобилестроителей – *Hyundai Motor Company*.

В условиях роста рынка CAE-приложений и всё более интенсивного использования суперкомпьютерной техники, разработка компанией *Dassault Systèmes* упомянутой выше универсальной платформы для моделирования *SIMULIA* выглядит достаточно логично. При этом разработчик рассчитывает, и небезосновательно, на успех и востребованность своей инициативы. Наличие такой мощной платформы будет способствовать определенной унификации имеющегося в настоящее время разнообразия CAE-приложений, что, в свою очередь, даст возможность высвободить ресурсы и сконцентрировать их на развитии новых перспективных направлений.

Пока же *Dassault Systèmes* продолжает активно развивать находящуюся в её распоряжении систему *ABAQUS*. По словам представителей компании, она “становится стандартом для высококачественного моделирования процессов в автомобильной промышленности”. В этой работе *DS* использует плюсы своего длительного сотрудничества с *BMW Group* и другими пользователями системы.

Рискнем высказать предположение, что платформа *SIMULIA* (или её варианты) будет доступна как для рабочих станций, так и для суперкомпьютеров. Движущими силами и опорами в процессе её строительства послужат, с одной стороны, многолетнее стратегическое партнерство с лидером суперкомпьютерного рынка – компанией *IBM*, а с другой – весьма перспективное сотрудничество с *Microsoft*, разработчиком самой массовой платформы для рабочих станций (см. *Observer* #5/2004).

## Международный рейтинг суперкомпьютеров TOP500

Суперкомпьютерами называют самые быстрые вычислительные системы. Именно рекордная для своего времени производительность является критерием принадлежности компьютера к классу *super*.

Удивительно, но сам термин *super computing* появился еще до появления электронных компьютеров – в 1921 году, когда в газете *New York World* было опубликовано сообщение об электромеханическом табуляторе внушительных размеров, выпущенном по заказу Колумбийского университета компанией *Computer Tabulating Recording* (в 1924 году она получила другое, гораздо более известное сегодня название – *International Business Machine*, или *IBM*).

За непрерывным ростом производительности суперкомпьютеров пользователи следят вот уже почти 60 лет – с момента запуска в феврале 1946 года ЭВМ *ENIAC* и начала эры электронных вычислителей. Каждый появившийся тогда суперкомпьютер был событием и бил рекорд производительности

для своего класса. Даты запуска в эксплуатацию некоторых экземпляров и рост их производительности показывается график на рис. 2.

Традиционно производительность измеряется количеством операций с плавающей точкой в секунду, а единица измерений называется **FLOPS** (**F**loating **P**oint **O**perations **P**er **S**econd). Как видно из графика, рост производительности самых мощных для своего времени компьютеров на протяжении всего рассматриваемого периода подчиняется экспоненциальному закону (на рисунке представлен в логарифмическом масштабе прямой красного цвета).

Особо следует отметить такую легендарную в мире суперкомпьютеров личность, как **Сеймур Крей** (*Seymour Cray*). Вот лишь некоторые даты, связанные с его деятельностью:

- 1964 год – запуск *CDC 6600*, первого компьютера, разработанного под руководством Крея (именно это устройство многие считают прародителем всех “суперов”);
- 1972 год – основание компании *Cray Research* (с этого момента часто начинают отсчет развития суперкомпьютерной индустрии);
- 1976 год – выпуск суперкомпьютера *Cray-1* (дата появления первого бренда в этой сфере).

Со временем росла не только вычислительная мощность супер-ЭВМ – одновременно возрастало и число задач, требующих для своего решения высокой производительности вычислений. С каждым годом круг производителей суперкомпьютеров расширялся, увеличивалось общее количество находящихся в эксплуатации систем. Сравнительная оценка суперкомпьютерных систем впервые была проведена в 1986 году – их тогда в мире насчитывалось 187. К концу 1992 года, когда в мире работало уже 530 суперкомпьютеров, был начат проект, в рамках которого дважды в год составляется список пятисот самых производительных из них. Первый такой топ был опубликован в июне 1993 года, а в настоящее время информация за все 13 лет существования проекта свободно доступна на сайте [www.top500.org](http://www.top500.org) под названием **TOP500 Supercomputer sites**. В ноябре 2005 года появился уже 26-й список.

Высшую ступеньку в рейтинге вот уже целый год, начиная с ноября 2004 года (24-й список), занимает **Blue Gene/L** (рис. 3), разработанный IBM ([www.research.ibm.com/bluegene](http://www.research.ibm.com/bluegene)) и установленный в Ливерморской национальной лаборатории им. Лоуренса (*Lawrence Livermore National Laboratory*). Когда этот проект был анонсирован в сентябре 2000 года, представители компании IBM оценивали его в 100 млн. долл. Планировалось, что система будет

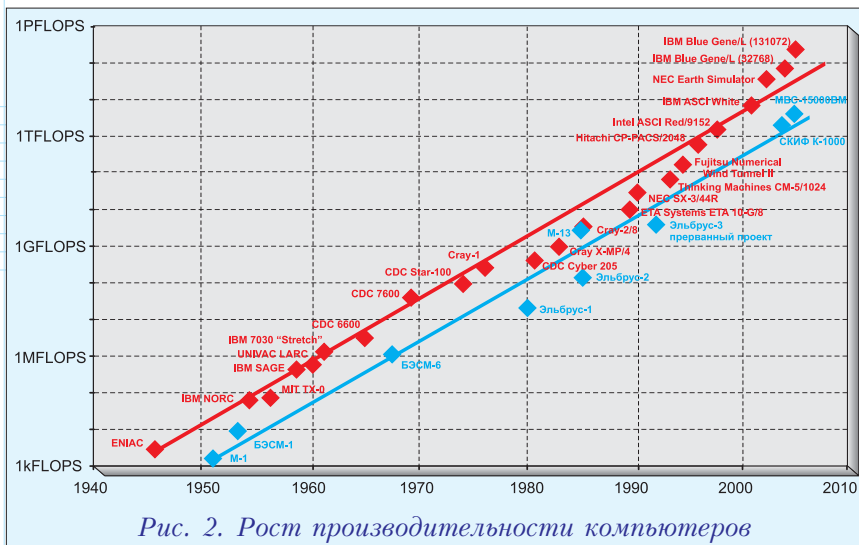


Рис. 2. Рост производительности компьютеров

использоваться в основном, для моделирования процесса создания белковых молекул по “инструкциям”, хранящимся в ДНК. Процесс “строительства” суперкомпьютера продолжается и по сей день. За время, пока *Blue Gene/L* находится в первой строке *TOP500*, число его процессоров возросло в четыре раза – с 32 768 до 131 072, а быстродействие – с 70.7 до 280.6 *TFLOPS*. Надо отметить, что это пока единственный суперкомпьютер, который преодолел рубеж 100 *TFLOPS* (1 *TFLOPS* = 10<sup>12</sup> *FLOPS*).

Статистические данные, полученные на основе анализа списков *TOP500*, позволяют выделить ряд интересных тенденций развития суперкомпьютерной отрасли.

✓ Производительность суперкомпьютеров непрерывно растет. Общая производительность систем, представленных в *TOP500* за ноябрь 2005 года, достигла 2.30 *PFLOPS* (1 *PFLOPS* = 10<sup>15</sup> *FLOPS*), что в 2.04 раза больше, чем было год назад. Растет и “проходной балл” для попадания в *TOP500* – для нынешнего 26-го списка он составил 1.646 *TFLOPS*, а чтобы занять первую сотню мест требовалось выполнять не менее 3.98 *TFLOPS*.



Рис. 3. Blue Gene/L – самый мощный компьютер в мире



Рис. 4. Отрасли, являющиеся потребителями суперкомпьютерных систем (1993÷2005 гг.)

✓ Наиболее распространенными являются компьютеры со следующим количеством процессоров: 513÷1024 (50.2% систем), 257÷512 (25.4%) и 1025÷2048 (13.4%). В 333 суперкомпьютерах из 500 установлены процессоры Intel (в том числе, на Intel EM64T базируется 81 система, а на Intel Itanium 2 – 46 систем). Кристаллы IBM Power послужили основой для 73 систем. На базе AMD Opteron построено 55 систем, из которых пять – на двухъядерных.

✓ Большинство (360 из 500) суперкомпьютерных систем в TOP500 являются кластерными.

✓ В списке производителей суперкомпьютеров с большим отрывом лидируют IBM (43.8% систем) и Hewlett-Packard (33.8%). В первую пятерку входят еще три американские компании: SGI (3.6%), Cray (3.6%) и Dell (3.4%).

✓ Крупнейшей суперкомпьютерной державой по-прежнему является США, где эксплуатируется 61% попавших в TOP500 систем. Если же в качестве

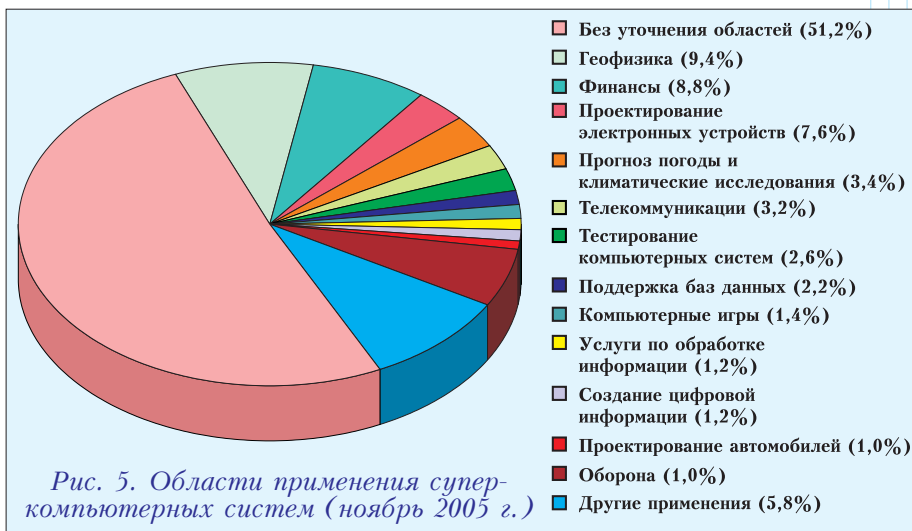


Рис. 5. Области применения суперкомпьютерных систем (ноябрь 2005 г.)

основного критерия брать производительность, то отрыв еще значительнее – на США приходится более двух третей (68.1%) производительности всех компьютеров из TOP500. В первую пятерку входят также Великобритания (8.2% и 5.4% соответственно), Германия (4.8% и 3.1%), Япония (4.2% и 6.1%) и Китай (3.4% и 2.6%). Как и в случае с США, японский показатель суммарной производительности систем превышает количественный показатель. Такой результат достигнут благодаря недавнему лидеру TOP500 – суперкомпьютеру Earth Simulator, созданному компанией NEC в 2002 году.

✓ В течение всего периода существования проекта TOP500 в среднем порядка 90% суперкомпьютерных систем из TOP500 и порядка 85% их суммарной производительности использовались потребителями для нужд промышленности, научных исследований и образования (рис. 4). При этом, в 1993÷2005 годах в среднем наблюдается рост числа и суммарной производительности суперкомпьютеров, применяемых для промышленных нужд.

В ноябре 2005 года для нужд промышленности, научных исследований и образования было задействовано соответственно 53.2%, 24.2% и 14.0% систем из списка TOP500. Если же в качестве основного критерия рассматривать производительность, то более половины суммарной производительности суперкомпьютеров TOP500 используется для научных исследований – 50.9%, а для нужд промышленности и образования соответственно 28.8% и 15.9%.

Направления науки, техники и технологии, в которых применяются суперкомпьютерные системы, показаны на рис 5.

### Российский рейтинг суперкомпьютеров TOP50

В текущий 26-й международный список TOP500 входят два суперкомпьютера, разработанных в России и Беларуси. (Здесь уместно вспомнить, что плодом собственных разработок (self-made), а не результатами трудов R&D-подразделений международных компьютерных корпораций, являются всего пять систем из пятисот.)

Итак, 69-е место в TOP500 с производительностью 5.355 TFLOPS (максимально возможная, или пиковая производительность достигает 8.13112 TFLOPS) зани-

мает кластер МВС-15000ВМ (рис. 6). Впервые система появилась в 25-м списке TOP500



Рис. 6. Входящий в международный рейтинг TOP500 кластер МВС-15000ВМ является лидером российского TOP50

за июнь 2005 года, где заняла 56-е место. Установлена она в *Межведомственном суперкомпьютерном центре* (МСЦ) Российской Академии наук в Москве ([www.jssc.ru](http://www.jssc.ru)). Работы по интеграции системы, состоящей из 924 процессоров *IBM PowerPC-970+*, были выполнены специалистами этого центра, Института прикладной математики РАН, а также НИИ “Квант”.

На 331-й строке *TOP500* находится кластер **СКИФ К-1000** с производительностью 2.032 *TFLOPS* (пиковая производительность составляет 2.5344 *TFLOPS*). Впервые он появился в 24-м списке *TOP500* за ноябрь 2004 года, где занимал 98-е место.

Этот суперкомпьютер установлен в *Объединенном институте проблем информатики* Национальной академии наук (ОИПИ НАН) Беларуси в городе Минске ([www.uip.bas-net.by](http://www.uip.bas-net.by)). Разработка системы, состоящей из 576 процессоров *AMD Opteron 248*, проводилась в соответствии с программой “СКИФ” Союзного государства Россия-Беларусь силами специалистов ОИПИ НАН Беларуси, НИИ ЭВМ (г.Минск), Института программных систем РАН (г.Переславль-Залесский) и компании Т-Платформы (г.Москва).

Отрадно, что компьютерная отрасль на территории постсоветского пространства, которой в 90-е годы пришлось переключиться на применение другой элементной базы и отказаться от копирования зарубежных образцов вычислительной техники, начинает демонстрировать возрождающиеся возможности межгосударственной интеграции и практической реализации значительного теоретического задела, который ранее проявлялся в передовых для своего времени ЭВМ серии БЭСМ и “Эльбрус” (прямая синего цвета на [рис. 2](#)).

Развитие суперкомпьютерного направления в России и попадание российских разработок в международный рейтинг инициировали идею вести собственный, аналогичный *TOP500*, проект.

Как следствие, были опубликованы три редакции (в декабре 2004 г., в апреле и сентябре 2005 г.) российского списка **TOP50**, куда входят пятьдесят самых мощных суперкомпьютерных систем на постсоветском пространстве.

Проект ведется Научно-исследовательским вычислительным центром МГУ им.М.В.Ломоносова и МСЦ РАН при спонсорской поддержке компании Т-Платформы. Информация свободно доступна на сайте [www.supercomputers.ru](http://www.supercomputers.ru).

В третий *TOP50* вошли 45 систем, действующих в России, и пять – на территории СНГ (по две в Беларуси и Украине, одна – в Армении).

С учетом почти годового срока существования рейтинга *TOP50* можно считать, что технология уже обкатана и этап начальной “инвентаризации” растущего суперкомпьютерного хозяйства завершен.

И хотя о полноценной статистике (а, соответственно, и о тенденциях) говорить, по всей видимости, еще рано, некоторые предварительные итоги сейчас подвести уже можно:

✓ Лидерами российского топа, естественно, являются попавшие в международный рейтинг *TOP500* системы. Третье место занимает новый 256-процессорный кластер с производительностью 1.293 *TFLOPS*, установленный в МСЦ РАН.

✓ Суперкомпьютеры на постсоветском пространстве находят применение в следующих отраслях: наука и образование – 40%, финансы – 30%, исследования – 20%, промышленность – 10%.

✓ В отличие от общемировой тенденции, доля суперкомпьютерных систем, применяемых в промышленности СНГ, за время существования российского *TOP50* не выросла. Тем не менее, четвертое место в текущем топе занял новый 128-процессорный кластер с производительностью 768 *GFLOPS* – самый мощный суперкомпьютер, размещенный на промышленном предприятии. Место его дислокации – НПО “Сатурн” (г. Рыбинск), а назначение – расчеты авиационных двигателей и газотурбинных установок.

✓ За время ведения *TOP50* доля суперкомпьютеров для коммерческого использования возросла до 44%.

## Коммерческое использование суперкомпьютеров

В былые времена доступ к мощным вычислительным системам был крайне регламентирован. По счастью, времена меняются. В качестве хорошего примера коммерческого подхода можно привести *Республиканский суперкомпьютерный центр коллективного пользования* (РСКЦ КП), который является структурным подразделением ОИПИ НАН Беларуси.

Центр предлагает удаленный доступ к вычислительным ресурсам трех различных моделей суперкомпьютеров СКИФ и “джентльменский набор” программного обеспечения для решения *CAD/CAE*-задач. В этом наборе представлены пакеты *Pro/ENGINEER*, *SolidEdge*, *Inventor* (“для создания компьютерных пространственных моделей объектов и систем”), *LS-DYNA* версии 970 (для решения задач в области нелинейных быстропротекающих динамических процессов), *STAR-CD* и *Fluent 6.2* (для моделирования процессов гидродинамики).

Стоит отметить, что в РСКЦ КП проводились 3D-моделирование остовов универсальных тракторов “Беларусь”, расчет несущих конструкций самосвалов “БелАЗ”, моделирование столкновений автомобилей “МАЗ” с неподвижными препятствиями, а также решались многие другие задачи проектирования и инженерного анализа.

Вычислительные ресурсы РСКЦ КП предоставляются по цене от 0.1÷0.5 долл. за процессор в час – в зависимости от ежемесячного объема вычислений и продолжительности работ на протяжении года. Для отладки технологии удаленного доступа и проведения расчетов вычислительные ресурсы предоставляются бесплатно сроком на одну неделю (см. [parallel.ru/centers/rskckp.html](http://parallel.ru/centers/rskckp.html)). ☺