

Инженерный анализ на персональном суперкомпьютере? Достижения на рынке систем высокопроизводительных вычислений

Сергей Павлов, к.ф.-м.н. (Observer)

sergey@cadcamcae.lv

Развитие рынка систем CAE (Computer Aided Engineering), аналитический обзор которого недавно был сделан на страницах нашего журнала (см. статью “Финансовый анализ рынка CAE-технологий”, #3/2007; www.cadcamcae.lv/hot/CAE_kings_n33_p7.pdf), в значительной степени зависит от вычислительных возможностей, имеющихся в распоряжении пользователей этих систем.

Действительно, какие бы вычислительные ресурсы ни находились у тебя “в руках”, всё равно для более наглядного, более точного, более быстрого расчета всегда не хватает гигабайта-другого оперативной памяти и нескольких десятков гигафлопсов быстродействия процессора, поскольку компьютер “не тянет” решение задачи при уточненной постановке (как в том детском стихе: “За время пути собака могла подрасти”).

Поэтому не стоит удивляться, что у каждого, кто регулярно занимается решением сложных расчетных задач, в плоть и кровь вошла привычка следить за развитием возможностей вычислительной техники. В ячейках памяти постоянно накапливаются сведения о новейших микропроцессорах, мощных персональных компьютерах (ПК) и, конечно же, о суперкомпьютерах, которые, как ничто другое, являют собой прогресс информационных технологий (ИТ). Мечта “апгрейднуться” не покидает расчетчика-аналитика при любой мощности доступного вычислительного инструмента и при любых финансовых возможностях работодателя или заказчика.

В данной статье мы рассмотрим важнейшие события на рынке систем высокопроизводительных (суперкомпьютерных, параллельных, распределенных) вычислений или, как его коротко называют, рынке **HPC** (High-Performance Computing), которые произошли за время, прошедшее с предыдущей публикации автора на эту тему (см. статью “Назад к мейнфреймам?” #6/2005; www.cadcamcae.lv/hot/MF_n24_p86.pdf).

Состояние мирового рынка HPC

Чтобы оценить положение дел на рынке HPC, воспользуемся материалами аналитической и консалтинговой компании *International Data Corporation* или **IDC** (www.idc.com), которая специализируется на исследованиях рынка информационных и телекоммуникационных технологий. Эта американская компания, объединяющая более 850 аналитиков, работающих в 50 странах мира, является дочерней компанией **International Data Group**, которая, в свою очередь, широко известна как издатель свыше 300 журналов в 85 странах и, в первую очередь, пятью продуктами – *Computerworld/InfoWorld*, *CIO*, *Macworld*, *Network World* и *PC World*.

Из опубликованных в открытой печати материалов (пресс-релизов, годовых отчетов компаний, данных, фигурирующих в прогнозах аналитиков, и пр.) можно получить данные об объемах рынка HPC, начиная с 1999 года (рис. 1).

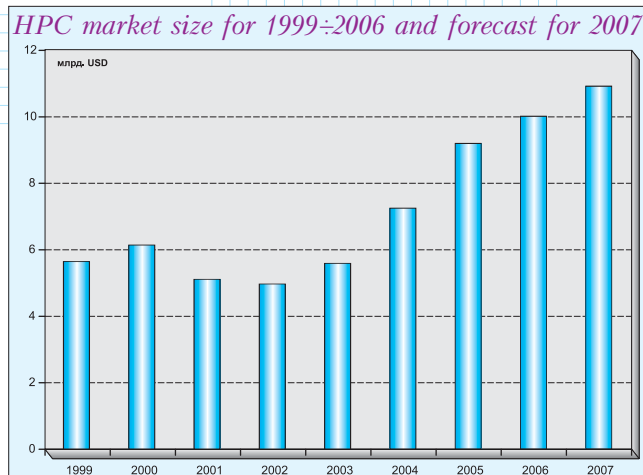


Рис. 1. Объем рынка систем высокопроизводительных вычислений в 1999-2006 гг. и прогноз на 2007 г.

После ощутимого спада в 2002 году (до 5 млрд. долл.) рынок не только восстановился, но и уже на протяжении пяти лет демонстрирует устойчивую тенденцию к росту. Рекордные темпы роста наблюдались в 2004 и 2005 гг. (29.5% и 26.9% соответственно). В 2006 году этот показатель достиг почти 9%, а объем рынка – 10.02 млрд. долл.

По прогнозам компании *IDC*, в предстоящие пять лет темпы роста сохранятся в среднем на уровне порядка 9%; таким образом, ожидается, что в 2007 году объем рынка будет составлять примерно 11 млрд. долл.

Основные игроки рынка HPC в специальных представлениях не нуждаются (табл. 1).

Все основные игроки рынка HPC являются многоотраслевыми компаниями с годовым доходом и рыночной капитализацией более 10 млрд. долл. (по данным 2006 года), что превышает общий объем рынка HPC в

Таблица 1. Основные игроки рынка HPC

Название	Биржевой индекс	Адрес сайта
Hewlett-Packard Company	HPQ	www.hp.com
IBM Corporation	IBM	www.ibm.com
Dell, Inc.	DELL	www.dell.com
Sun Microsystems, Inc.	JAVA	www.sun.com
Silicon Graphics, Inc.	SGIC	www.sgi.com
Cray, Inc.	CRAY	www.cray.com
NEC Corporation	NIPNY	www.nec.com
Hitachi, Ltd.	HIT	www.hitachi.com
Fujitsu, Ltd.	FJTSF.PK	www.fujitsu.com
Intel Corporation	INTC	www.intel.com
Advanced Micro Devices, Inc.	AMD	www.amd.com
Microsoft Corporation	MSFT	www.microsoft.com

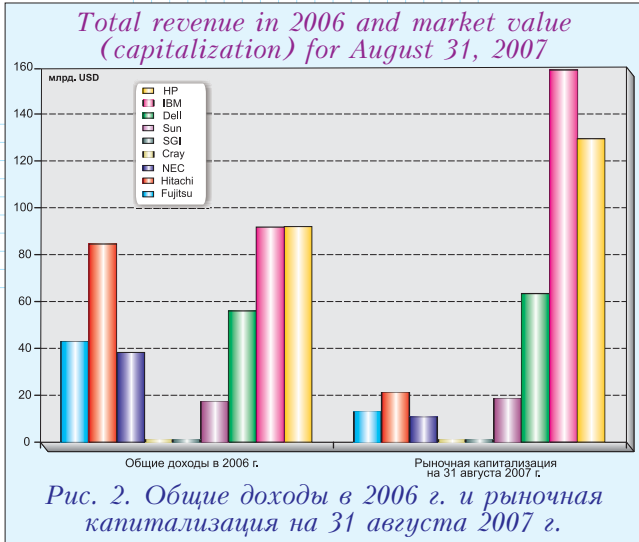


Рис. 2. Общие доходы в 2006 г. и рыночная капитализация на 31 августа 2007 г.

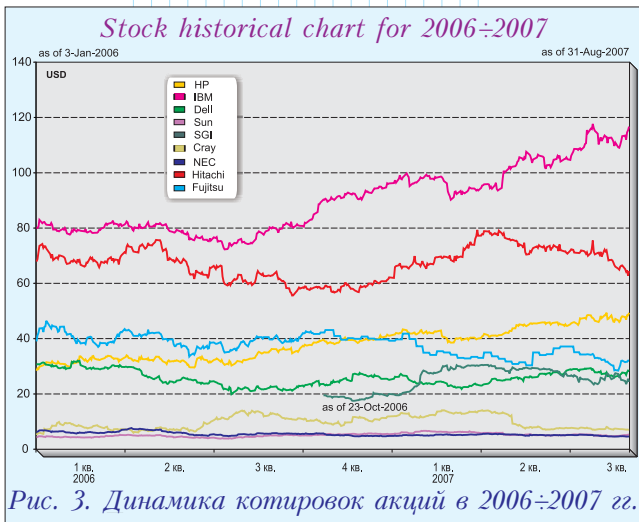


Рис. 3. Динамика котировок акций в 2006÷2007 гг.

2006 году (рис. 2). Исключение составляют две компании – *Cray, Inc.*, которая владеет первым суперкомпьютерным брендом, и *Silicon Graphics, Inc. (SGI)*, акции которой после улучшения финансового положения компании снова начали котироваться на бирже с октября

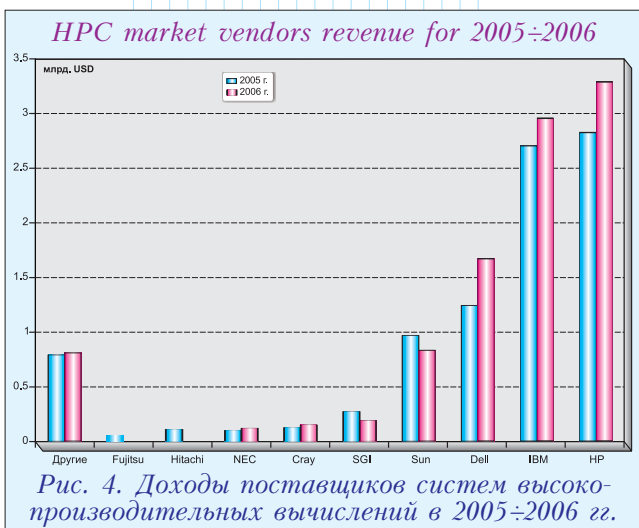


Рис. 4. Доходы поставщиков систем высокопроизводительных вычислений в 2005÷2006 гг.

2006 года. Лидером по величине общего дохода в 2006 году является *Hewlett-Packard* (далее – *HP*; просьба не путать с аббревиатурой *HPC*); эта компания не на много, но обошла корпорацию *International Business Machines (IBM)* – соответственно, 91.7 и 91.4 млрд. долл.

Такой запас прочности позволяет компаниям чувствовать себя достаточно стабильно, несмотря на жесточайшую конкуренцию в различных сегментах рынка информационных и коммуникационных технологий. Об этом свидетельствует и динамика котировок их акций, отражающая, в основном, колебания самого рынка. Устойчивая тенденция роста курса акций в 2006÷2007 гг. наблюдается (рис. 3) только у двух компаний *HP* и *IBM* (при построении графиков использовались данные и стиль портала finance.yahoo.com).

Вот уже третий год (считая и первую половину 2007 г.) лидером рынка *HPC* является компания *HP*, которая опережает корпорацию *IBM*. В 2005 и 2006 годах принадлежащая *HP* доля рынка составила 30.7% и 32.8% соответственно, или примерно 2.8 и 3.29 млрд. долл. Доля *IBM* в эти годы составляла 29.4% и 29.5% соответственно, или примерно 2.7 и 2.96 млрд. долл. (рис. 4). Компаниям *HP* и *IBM* принадлежит “контрольный пакет” рынка *HPC* – 62.3%, или 6.24 млрд. долл.

С большим отрывом от своих ближайших конкурентов эти две компании лидируют и в мировом рейтинге суперкомпьютеров *Top500* (www.top500.org). Новейший список, уже 29-й с 1993 года, был опубликован в июне 2007 г. (рейтинг публикуется дважды в год – в июне и ноябре). По количеству установленных суперкомпьютеров лидером впервые стала компания *HP*, на счету которой 202 системы из пятисот; у корпорации *IBM* – 192 (рис. 5).

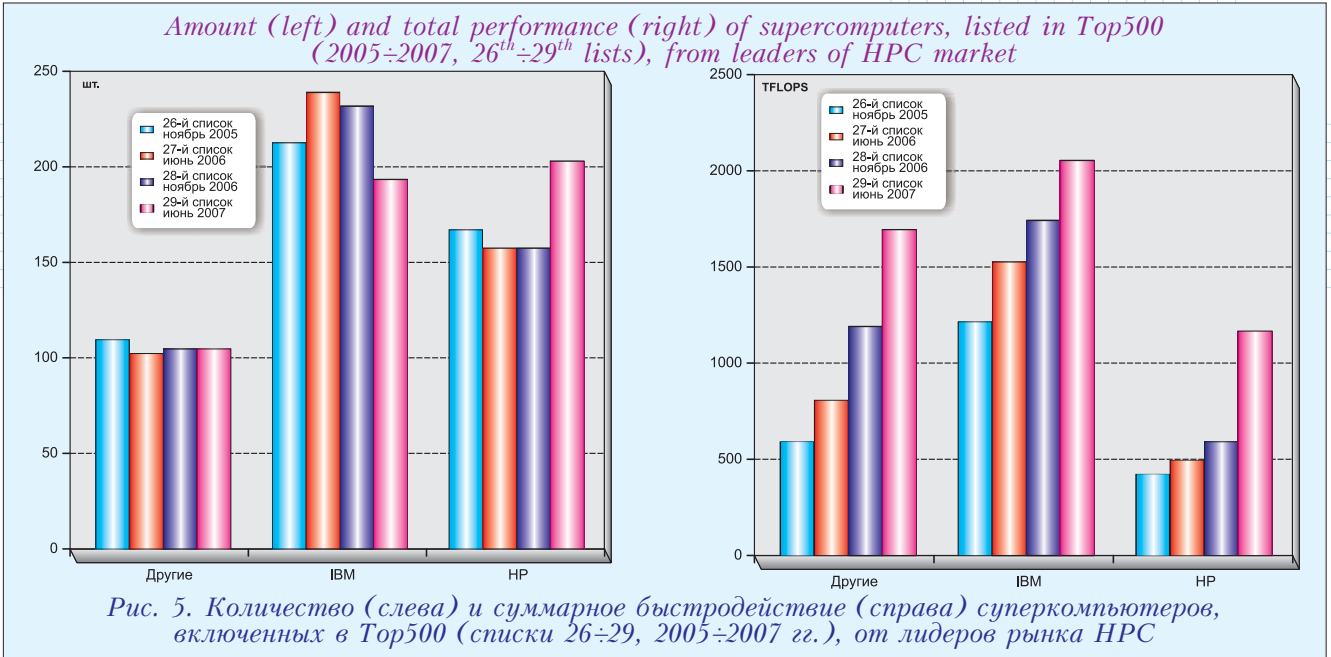
Если сравнивать суммарное быстродействие всех установленных систем, то бесспорным лидером *Top500* остается *IBM*; компания *HP* здесь занимает 2-е место. *IBM* является разработчиком самого быстрого суперкомпьютера в мире – *Blue Gene/L* с быстродействием 280.6 *TFLOPS*, которое было достигнуто еще в 2005 году. На высшей ступени пьедестала почета этот компьютер находится с 2004 года. Тогда его конфигурация содержала в четыре раза меньше процессоров – 32 768 и обеспечивала быстродействие 70.72 *TFLOPS*.

На рис. 6 показан рост производительности различных компьютерных систем – от однопроцессорных до суперкомпьютеров, которые в момент выпуска имели рекордную производительность в своем классе. Обозначения кратных единиц можно найти в табл. 2. Напомним, что скорость компьютеров измеряется количеством операций с плавающей точкой,

Таблица 2. Кратные единицы

Кратность	Приставка	Обозначение
10 ²¹	<i>zetta-</i>	<i>Z</i>
10 ¹⁸	<i>exa-</i>	<i>E</i>
10 ¹⁵	<i>peta-</i>	<i>P</i>
10 ¹²	<i>tera-</i>	<i>T</i>
10 ⁹	<i>giga-</i>	<i>G</i>
10 ⁶	<i>mega-</i>	<i>M</i>
10 ³	<i>kilo-</i>	<i>k</i>

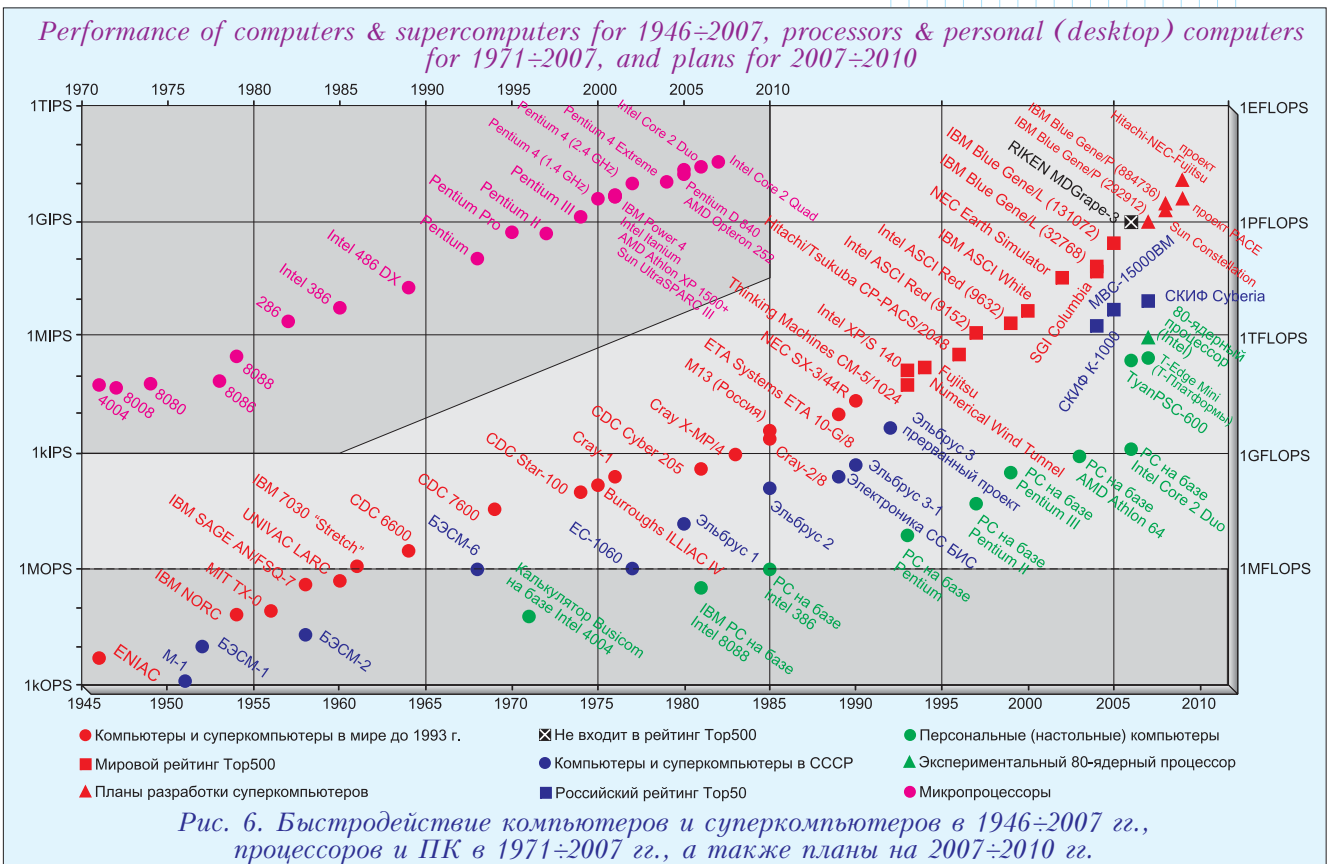
Пример: 1 *zettaFLOPS* = 1 *ZFLOPS* = 10²¹ *FLOPS*



выполняемых в секунду – **FLOPS (FLoating point Operations Per Second)**. Для сопоставления быстродействия суперкомпьютеров используется текст **LINPACK**.

Сопоставляя результаты анализа рынка **HPC** и рейтинга **Top500**, не следует забывать, что при изучении рынка берутся данные, относящиеся к отдельно взятому (!)

финансовому году, тогда как в **Top500** присутствует, так сказать, повторный счет. Например, в новейший список включено: 304 системы (60.8%), инсталлированные в 2007 году; 116 систем (23.2%), введенных в эксплуатацию в 2006 году; 51 суперкомпьютер (10.2%), запущенный в 2005 году, а также 29 систем, которые трудятся уже начиная с 2000÷2004 гг. и при этом набирают



“проходной балл” (в июне 2007 года его величина составила 4 TFLOPS).

Третья по величине доля рынка HPC принадлежит компании Dell, Inc. и составляет 16.7% или 1.67 млрд. долл. Интересно, что Dell – лидер рынка рабочих станций, а лидирующая на рынке HPC компания HP находится на 2-м месте. Три американские компании – HP, IBM и Dell – являются миллиардерами рынка HPC и обладают “конституционным большинством”: 79%, или 7.9 млрд. долл.

Вплотную к тройке миллиардеров приблизилась находящаяся на 4-м месте компания Sun Microsystems, Inc., которой в 2006 году принадлежало 8.3% общего объема рынка HPC (0.83 млрд. долл.).

Конечно, звон злата завораживает, но не всё измеряется деньгами, поэтому не стоит обходить вниманием и остальные компании, представленные на рис. 4. На их счету – не один успешно реализованный проект, и планы на будущее у них тоже большие (о некоторых из этих планов будет рассказано ниже). Так, например, японская NEC Corporation разработала суперкомпьютер Earth Simulator, который в 2002÷2004 гг. занимал первую строку в мировом рейтинге Top500 (рис. 6). Бренд Cray недавно “прозвучал” в связи с началом производства нового самолета Boeing-787 Dreamliner, при проектировании которого было затрачено 800 000 процессорно-часов машинного времени на суперкомпьютерах Cray, имевшихся в распоряжении компании Boeing.

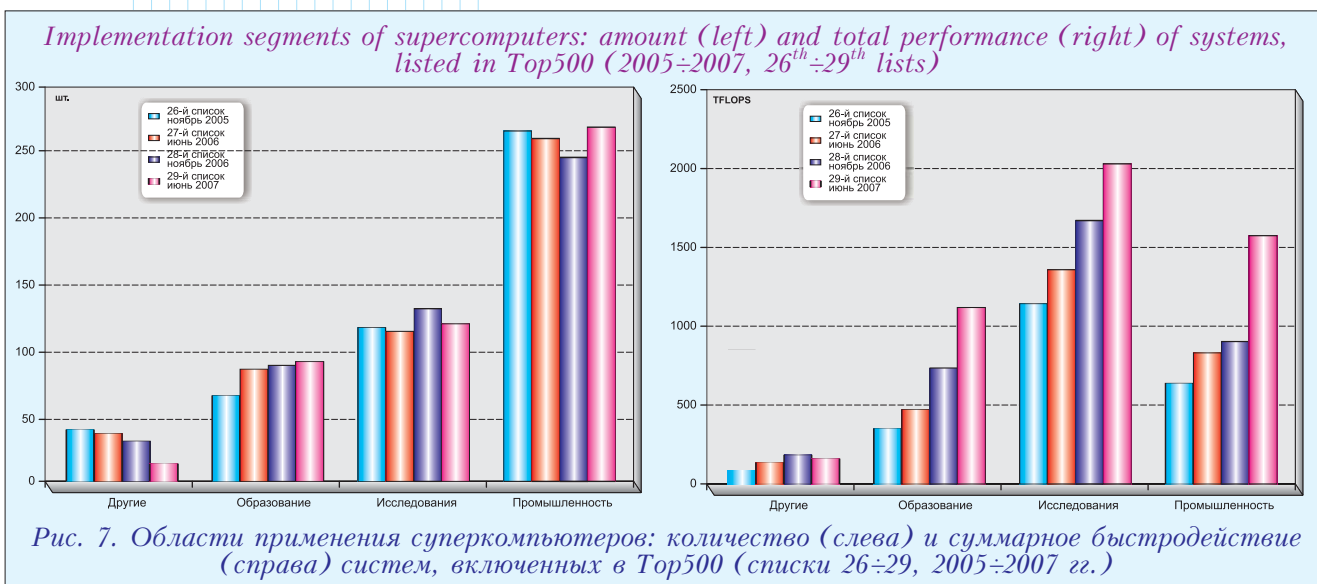
Хотя доли рынка HPC, которыми обладают Intel Corporation и Advanced Micro Devices, Inc. (AMD), на рис. 4 не представлены, следует помнить, что эти компании стоят за спиной любого игрока рынка HPC и за его успехом. Как разработчики универсальных микропроцессоров, они являются поставщиками подавляющего большинства “первокирпичиков” для постройки систем, обеспечивающих успешное функционирование современного информационного общества. Вместе с IBM компании Intel и AMD образуют первую тройку поставщиков “атомов”, из которых собраны суперкомпьютеры, входящие в мировой рейтинг Top500. Опубликованные в июне 2007 года результаты гласят, что из 500 суперкомпьютерных систем 57.8% построены на базе процес-

соров Intel, 21% – на основе процессоров AMD, а в 17% систем использованы процессоры IBM Power.

Пару лет назад на рынок HPC “положила глаз” и Microsoft Corporation: для решения проблем высокопроизводительных вычислений в корпорации создано специальное подразделение. В 2006 году Microsoft предложила свою новую разработку – Windows Compute Cluster Server 2003, которая позволяет из корпоративной локальной сети построить систему для распределенных вычислений. Хотя идея не нова, и её можно было и ранее реализовать в операционной среде UNIX, событие это знаковое. Являясь поставщиком самой массовой компьютерной платформы и самых массовых интегрированных офисных приложений, компания Microsoft почувствовала, что ориентированный пока еще, в основном, на элитарных пользователей рынок систем высокопроизводительных вычислений будет постепенно расширяться, а впоследствии охватит и массового пользователя. А это означает, что здесь будут востребованы технологии Microsoft, которая среди участников рынка является самой эффективной и обладает самым высоким соотношением рыночной капитализации и годового дохода: при общем доходе в 2006 году, составившем чуть больше 51 млрд. долл., рыночная капитализация (на 31 августа 2007 года) превысила 269 млрд. долл.

Области применения систем высокопроизводительных вычислений

В соответствии с данными рейтинга Top500, наибольшее количество суперкомпьютерных систем применяется в промышленности, за ней следуют научные исследования и образование (рис. 7, слева). Наибольшая же суммарная производительность суперкомпьютеров находит применение в научных исследованиях, далее следует промышленность и образование (рис. 7, справа). Кроме того, суперкомпьютеры являются объектом экспериментов, проводимых их создателями, применяются для решения задач распознавания и классификации, а также задач государственного управления; эти области применения не столь велики по объему и на рисунке объединены в группу “другие”.



Implementation segments of IBM and HP supercomputers: amount (left) and total performance (right) of systems, listed in Top500 (2007, 29th list)

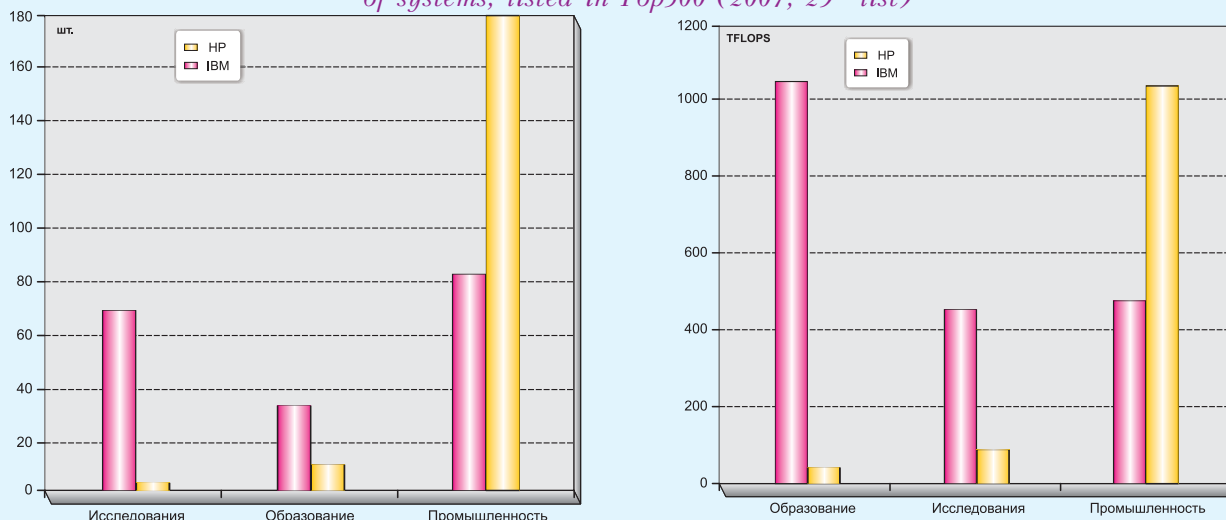


Рис. 8. Области применения суперкомпьютеров компаний IBM и HP: количество (слева) и суммарное быстродействие (справа) систем, включенных в Top500 (29-й список, 2007 г.)

Лидер рынка HPC – компания HP – поставляет высокопроизводительные системы преимущественно для нужд промышленности (рис. 8, слева). Наибольшее количество систем IBM также установлено в промышленности. Однако если в качестве основного параметра рассматривать суммарное быстродействие, то для IBM приоритетной областью являются суперкомпьютеры для научных исследований (рис. 8, справа). В первую очередь это системы с рекордными характеристиками производительности, построенные на базе собственных пионерских архитектурных и процессорных разработок “голубого гиганта”.

В статистических материалах, сопровождающих каждый выпуск мирового рейтинга, более подробная расшифровка областей применения суперкомпьютерных систем дается только для 45÷50% из них. Заявители же остальных 50÷55% систем точные данные о позиционировании не приводят (см. также вышеупомянутую статью в #6/2005, в которую включена круговая диаграмма на основе данных 26-го списка, опубликованного в ноябре 2005 года).

Именно поэтому нас заинтересовали данные аналитической компании IDC, относящиеся к областям применения систем высокопроизводительных вычислений за 2005 год (рис. 9), полученные напрямую от производителей и последующих пользователей суперкомпьютерных систем. Эти материалы иллюстрируют соотношение объемов различных сегментов рынка гораздо лучше, чем информация, представленная в Top500. К сожалению, данные опубликованы в открытой печати с годовым опозданием. Вероятнее всего, они использовались заказчиками исследования рынка для уточнения стратегии конкурентной борьбы, для более точного позиционирования на рынке своих разработок и более тонкого просчета маркетинговых ходов, воздействующих на самые чувствительные точки потенциальных пользователей. (Вообще, при изучении достижений компаний-мультимиллиардеров,

мы всегда располагаем информацией только об их прошлой деятельности. Такое положение дел вызывает в памяти базовые мысленные эксперименты специальной теории относительности, когда происходящие “события” фиксируются только “в прошлом” посредством не менее “стремительных” световых лучей.)

Естественно, что большинство суперкомпьютеров, на приобретение и эксплуатацию которых затрачена самая значительная доля средств (из общего объема рынка в 2005 году, который составил 9.2 млрд.), используются для пионерских исследований в области биологии (15.6%), перспективных исследований, финансируемых из госбюджета (15%), оборонных разработок (8.8%), а также на подготовку специалистов (18.5%).

Application & industry segments of HPC market in 2005

- CAD - машиностроительное проектирование (1.7%)
- EDA - проектирование электронных устройств (7.0%)
- CAE - инженерный анализ (12.1%)
- Образование (18.5%)
- Биологические исследования (15.6%)
- Исследования, финансируемые из госбюджета (15.0%)
- Оборона (8.8%)
- Создание цифровой информации (5.6%)
- Геофизика и картография (5.3%)
- Метеорология (3.9%)
- Экономика и финансы (2.8%)
- Химические технологии (2.4%)
- Обработка информации для задач управления (1.0%)
- Разработка ПО (0.2%)
- Другие (0.1%)

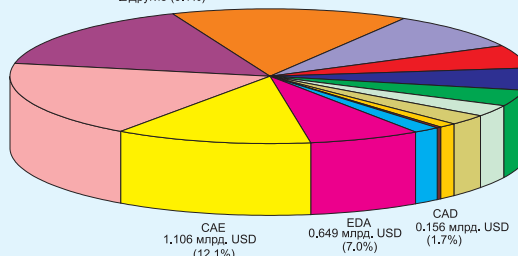


Рис. 9. Области применения систем высокопроизводительных вычислений в 2005 г.

Однако значительная доля средств (20.8%) идет на приобретение и эксплуатацию систем высокопроизводительных вычислений для нужд проектирования наукоемких и высокотехнологичных изделий различного назначения:

- для машиностроительного проектирования – 1.7%, или 0.156 млрд. долл.;

- для электротехнического и электронного проектирования – 7%, или 0.649 млрд. долл.;

- для проведения сложного инженерного анализа и моделирования проектируемых изделий с применением самых передовых CAE-технологий – 12.1%, или 1.106 млрд. долл.

Приведенные данные позволяют нам сделать следующие **важные выводы**:

- объем сегмента рынка суперкомпьютерных систем, использованных в 2005 году в качестве аппаратной поддержки PLM-технологий, составил 1.9 млрд. долл.;

- объем сегмента рынка суперкомпьютерных систем, использованных в 2005 году в качестве аппаратной поддержки CAE-технологий, составил 1.1 млрд. долл.

Чтобы оценить объемы этих сегментов рынка в 2006 году, предположим, что процентное соотношение сегментов не изменилось (надеемся, что, вводя такое допущение, мы не сильно погрешили против истины). Учитывая, что рынок HPC в 2006 году вырос на 9%, получаем соответственно 2.1 млрд. долл. и 1.2 млрд. долл.

Напомним, объемы рынков PLM- и CAE-технологий стабильно растут последние несколько лет, а в 2006 году их рост составил соответственно 8.6% и 8%. Объемы рынка PLM-технологий (по версии аналитической компании *Daratech*) в 2005 и 2006 гг. достигли

Таблица 3. Эра электронных компьютеров – вехи развития

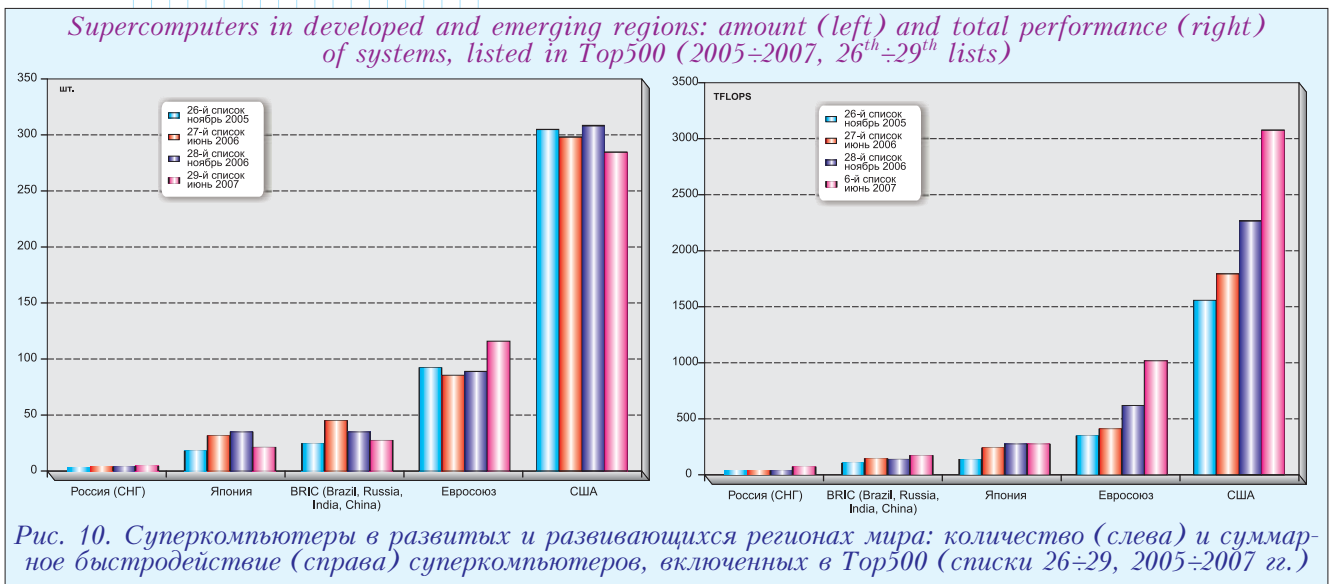
1946 г.	<i>ENIAC</i> – первый электронный компьютер
1971 г.	<i>Intel 4004</i> – первый 4-bit микропроцессор
1972 г.	<i>Intel 8008</i> – первый 8-bit микропроцессор
1976 г.	<i>Cray</i> – первый суперкомпьютер
1978 г.	<i>Intel 8086</i> – первый 16-bit микропроцессор
1981 г.	<i>IBM PC</i> – первый персональный компьютер
1985 г.	<i>Intel 386</i> – первый 32-bit микропроцессор
2001 г.	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Intel Itanium</i> – первый 64-bit микропроцессор • <i>IBM Power4</i> – первый двухъядерный микропроцессор с сокращенным набором команд (<i>RISC – Reduced Instruction Set Computing</i>)
2005 г.	<i>AMD Opteron 252</i> и <i>Intel Pentium D</i> – первые двухъядерные микропроцессоры с полным набором команд
2006 г.	<i>TyanPSC-600</i> – по-видимому, первый персональный (настольный) суперкомпьютер
2007 г.	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Intel Core 2 Quad Q6700</i> – первый четырехъядерный микропроцессор • экспериментальный 80-ядерный микропроцессор от <i>Intel</i>

соответственно 11.4 и 12.3 млрд. долл., а рынка CAE-технологий – 2.25 и 2.43 млрд. долл. (более подробно см. в #3/2007).

Следует отметить, что маркетинговые службы практически всех ведущих производителей систем высокопроизводительных вычислений обратили внимание на быстрорастущий рынок CAE-технологий и позиционируют решения специально для задач инженерного анализа (см. сайты компаний-поставщиков).

Региональный срез рейтинга *Top500* и программы развития HPC

Лидерство США не только на рынке HPC, но и вообще в области ИТ никого не удивляет. Практически все базовые достижения в этой области принадлежат ученым и инженерам из США (см. табл. 3 и рис. 6). Отражается это и на интегральных результатах рейтинга *Top500* (рис. 10), начиная с самого первого.



В США разработки в области ИТ в целом и суперкомпьютерных технологий в частности рассматриваются как стратегически важные. Еще в 1980-е годы в США были приняты законодательные акты, способствующие развитию отрасли высокопроизводительных вычислений. В 1992 году правительство США предложило программу по развитию суперкомпьютерных вычислений *Accelerated Strategic Computing Initiative (ASCI)*, основной целью которой было проведение моделирования ядерного взрыва для обеспечения “виртуального” тестирования ядерных боеприпасов после введения моратория на испытания ядерного оружия. Цель программы была достигнута – в 2002 году ученые из *Lawrence Livermore National Laboratory* министерства энергетики США впервые построили полную трехмерную модель ядерного взрыва. Вычисления на суперкомпьютере *ASCI White* с быстродействием $7.2 GFLOPS$ (лидер *Top500* в 2000 году – см. рис. 6) заняли около 39 суток машинного времени. В настоящее время задачи программы рассматриваются более широко, что отразилось в расшифровке аббревиатуры как *Advanced Simulation and Computing Program*.

Значительная доля в финансировании разработок новых мощных суперкомпьютеров в США приходится на бюджетные средства, которые поступают к ведущим компаниям-производителям из разных источников – по линии Министерства энергетики, Национального научного фонда (*National Science Foundation – NSF*), Национальной администрации аэронавтики и космоса (*National Aeronautics and Space Administration – NASA*) и других.

В середине 2007 года корпорация *IBM* анонсировала постройку к концу 2007 года – началу 2008 года суперкомпьютера *Blue Gene/P* с быстродействием $1 PFLOPS$ (система с 292 912 процессорами). Быстродействие можно нарастить до $3 PFLOPS$ (884 736 процессоров) к концу 2008 года. Компания *Sun* анонсировала создание в 2008 году суперкомпьютера *Sun Constellation* с быстродействием до $1.7 PFLOPS$. Таким образом, в соответствии с олимпийским девизом “*Citus, Altus, Fortus*” в **ближайшее время будет преодолен новый рубеж быстродействия суперкомпьютера – $1 PFLOPS$** (см. также рис. 6).

Однако в бочку американского мёда нельзя не добавить маленькую ложку японского дегтя... Дело в том, что фактически этот рубеж уже достигнут. В 2006 году в научно-исследовательском институте *RIKEN* в **Японии был разработан суперкомпьютер *MDGrape-3*** с быстродействием $1 PFLOPS$ для решения задач молекулярной динамики. Поскольку при построении системы использовались специализированные процессоры, на которых запуск тестов *LINPACK* не предусматривается, *MDGrape-3* не входит в рейтинг *Top500*.

Здесь возникает законный вопрос – а может быть следует выработать такую систему оценки быстродействия самых мощных в мире компьютеров, при которой маркетинговые службы ведущих американских компаний в области ИТ не смогут заглушить достижения, не укладывающиеся в прокрустово ложе *Top500*?..

Несмотря на то, что по суммарной мощности суперкомпьютеров Япония уступает Евросоюзу (рис. 10, справа), следует отметить, что японские *HPC*-системы,

в отличие от европейских, уже не раз удерживали “топовые” места в течение продолжительного времени (рис. 6). Более того, Япония намерена вернуть себе лидерство к 2009 году. В соответствии с программой, финансируемой правительством, научно-исследовательский институт *RIKEN* направит примерно 950 млн. долл. на создание суперкомпьютера нового поколения с быстродействием $10 PFLOPS$. В качестве разработчиков выступают известные японские компании *NEC*, *Fujitsu* и *Hitachi*.

Европейский Союз, несмотря на сложности управления из-за конфедеративного устройства, в последнее время принял ряд стратегически важных решений, направленных на развитие информационных технологий. В Европе в 2008–2010 гг. будет создана панъевропейская экосистема высокопроизводительных вычислений, которая, в том числе, будет включать четыре суперкомпьютера с быстродействием не менее $1 PFLOPS$ каждый, размещение которых предусматривается в Великобритании, Германии, Испании и Франции. Планируются инвестиции из фондов ЕС в размере порядка 500 млн. евро. Реализацией этой программы в рамках *Partnership for Advanced Computing in Europe (PACE)* будут заниматься ведущие организации в области ИТ пятнадцати стран ЕС, которые в 2007 году уже подписали меморандум о понимании – *MoU (Memorandum of Understanding)*.

Правомерен вопрос – а стоит ли тратить огромные деньги и устраивать *nemaфлонсовые* гонки для достижения стратегического лидерства? Ценным здесь является то, что эти планы являются не только и не столько политическими. Создание всё более мощных суперкомпьютеров связано с необходимостью решения насущных научных и технологических задач, в конечном счете, определяющих прогресс мировой цивилизации.

Хотя произвести точную оценку необходимого для решения той или иной задачи быстродействия компьютера сложно, но хотя бы какие-то ориентиры необходимы. С этой целью приведем табл. 4, которая составлена аналитиками компании *Intel*. Список проблем,

Табл. 4. Ориентировочное быстродействие для решения сложных задач

Задача	Быстродействие
Проектирование автомобиля	$100 TFLOPS$
Математическое моделирование зрения человека	$100 TFLOPS$
Моделирование аэродинамики летательных аппаратов	$1 PFLOPS$
Моделирование лазерных систем	$10 PFLOPS$
Моделирование динамики молекул в задачах биологии	$20 PFLOPS$
Проектирование летательных аппаратов	$1 EFLOPS$
Математическое моделирование в астрофизике и космологии	$10 EFLOPS$
Моделирование турбулентности	$100 EFLOPS$
Математическое моделирование в квантовой химии	$1 ZFLOPS$

конечно, не является исчерпывающим и может быть существенно расширен. Кроме того, можно поспорить и с оценками необходимого быстродействия, однако такое обсуждение уже выходит за рамки настоящей статьи.

Не собираются отставать в области высокопроизводительных вычислений и страны, относящиеся к четырем наиболее быстроразвивающимся регионам мира, которые западными аналитиками в области инвестиций обозначаются аббревиатурой BRIC (*Brazil, Russia, India, China*). В Top500 страны BRIC по количеству инсталлированных систем занимают 3-е место, опережая Японию, а по суммарному быстродействию – 4-е место вслед за Японией. Очень серьезно относятся к развитию высокопроизводительных вычислений в Китае. В 2007 году там впервые опубликовали собственный рейтинг суперкомпьютеров Top100.

На рис. 10 данные по России (СНГ) представлены не только в составе BRIC, но и отдельно.

Российский рынок суперкомпьютеров

В 29-м списке Top500, опубликованном в июне 2007 года, Россия представлена пятью системами:

- ✓ Самое высокое, 105-е место в рейтинге занимает установленный в начале 2007 года в Томском государственном университете суперкомпьютер SKIF Cyberia с быстродействием 9 TFLOPS, разработчиком которого является российская компания Т-Платформы (www.t-platforms.ru).

- ✓ 187-е и 265-е места получили MBC-15000BM и MBC-5000BM, которые работают в образованном в 1996 году Междуведомственным суперкомпьютерном центре (www.iscc.ru) Российской академии наук (МСЦ РАН) в Москве. После недавней модернизации они показали производительность 6.6 TFLOPS и 5.7 TFLOPS соответственно. Обе системы и до модернизации входили в Top500. Первую из них разработали ФГУП “Квант”, Институт прикладной математики (ИПМ) РАН и МСЦ. Разработчиком второй является американская компания HP.

- ✓ 294-е место занимает суперкомпьютер с быстродействием 5.2 TFLOPS, установленный в компании Logistics Services (F); разработчик – компания HP.

- ✓ 415-е место (4.5 TFLOPS) досталось суперкомпьютеру в Московском физико-техническом институте. Разработчик – компания HP.

Все перечисленные системы занимают первые пять мест и в опубликованном в сентябре 2007 года 7-м списке Top50 суперкомпьютеров России и СНГ (www.supercomputers.ru). Этот рейтинг публикуется Научно-исследовательским вычислительным центром (НИВЦ) МГУ им М.В.Ломоносова (srcc.msu.ru) и МСЦ РАН при поддержке Министерства образования и Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) (www.rfbr.ru) с декабря 2004 года.

Большая часть суперкомпьютеров, вошедших в Top50, создана следующими организациями (рис. 11, сверху):

- SKIF (Суперкомпьютерная инициатива “Феникс”). Этой аббревиатурой обозначается группа научно-исследовательских институтов и предприятий России и Беларуси, сотрудничавших в 2000–2004 гг. в

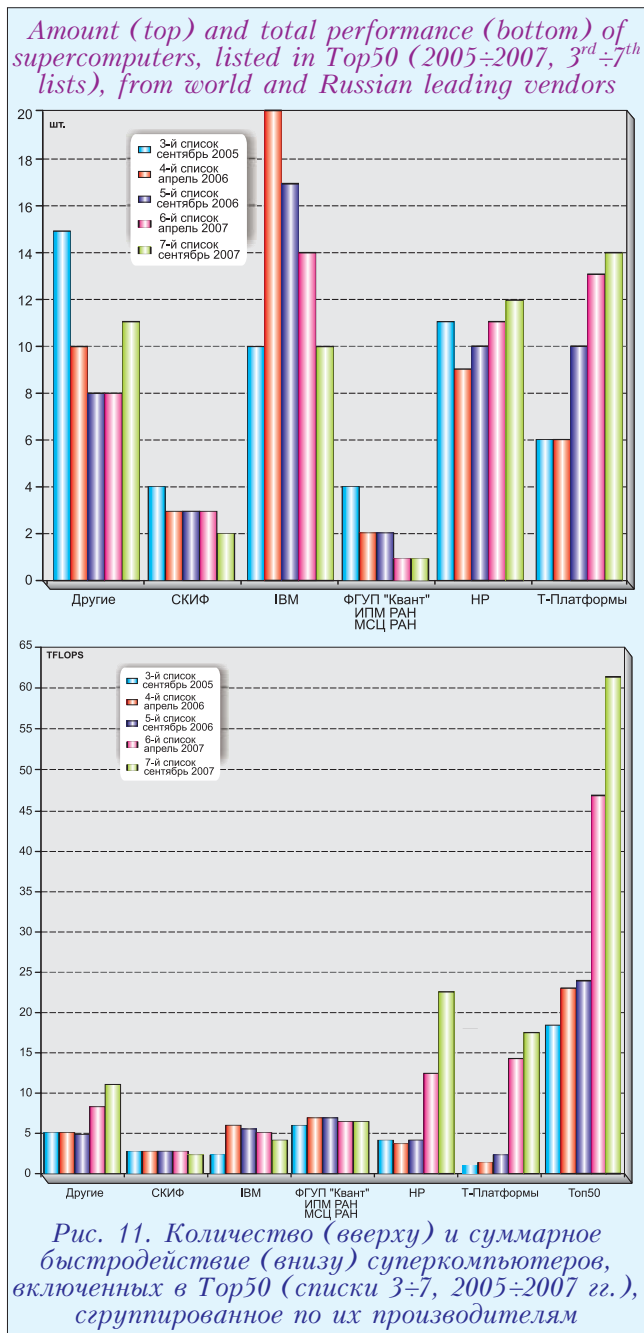
рамках проекта союзного государства. С апреля 2007 года проект получит развитие в рамках программы “СКИФ-ГРИД”;

- ФГУП “Квант”, ИПМ РАН и МСЦ (собственно, благодаря усилиям вышеперечисленных организаций и возродилась, как птица Феникс из пепла, суперкомпьютерная отрасль России);

- корпорация IBM, на счету которой 10 инсталлированных систем. Часть из них построена в сотрудничестве с российской компанией КРОК (www.croc.ru);

- компания HP, на счету которой 12 суперкомпьютерных систем;

- российская компания Т-Платформы, которая построила 14 систем из Top50 (одна из систем создана в сотрудничестве с компанией HP). Если рассматривать



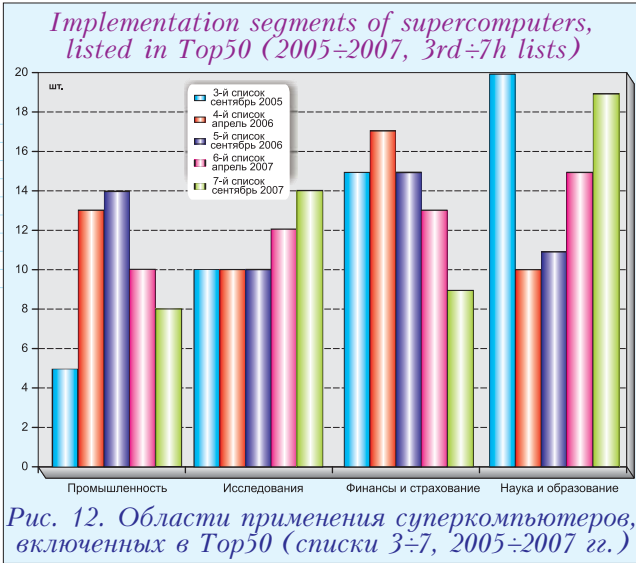


Рис. 12. Области применения суперкомпьютеров, включенных в Top50 (списки 3÷7, 2005÷2007 гг.)

суммарную производительность, то после установки SKIF Cyberia эта компания стала лидером 6-го списка рейтинга Top50, опубликованного в апреле 2007 года, однако в 7-м списке уступила свое лидерство компании HP (рис. 11, внизу).

Российский рынок HPC начал оформляться только два-три года назад (вероятнее всего, начало этого процесса можно связать с началом проекта Top50 в апреле 2004 года и первой публикацией рейтинга в декабре 2004 года). Системные исследования российского сегмента рынка HPC пока не проводились. Однако, как полагают эксперты в московском офисе IDC Russia/CIS (www.idc.com/russia), объем этого сегмента в 2005 году составил 12.6 млн. долл., а рост в 2006 году – не менее 100%. Предполагаемый потенциал роста в ближайшие три года – не менее 50% ежегодно.

Если с момента формирования российского сегмента рынка HPC на нем доминировали лидеры мирового рынка, то публикация данных 6-го и 7-го списков Top50 в апреле и сентябре 2007 года показывает, что **российская компания Т-Платформы уже претендует на лидерство и способна на равных конкурировать с HP и IBM в российском сегменте рынка HPC.** Об обороте компании в 2007 году можно судить по стоимости введенного в эксплуатацию в феврале суперкомпьютера SKIF Cyberia, составившей примерно 2 млн. долл.

Картину областей применения суперкомпьютеров, включенных в Top50, пока нельзя считать устоявшейся, как это имеет место в мировом рейтинге. По данным 7-го списка Top50 в промышленности используется 8 суперкомпьютеров (рис. 12), что составляет 16% всех включенных в него систем.

Положение дел в промышленности может измениться к концу 2007 – началу 2008 года. Машиностроительные предприятия, занимающиеся разработкой авиационных двигателей решили укрепить свою ИТ-инфраструктуру с целью расширить возможности сложного инженерного анализа проектируемых изделий. Так от ФГУП “ММП” “Салют” поступил заказ компании “Ай-Тек” (I-Teco) на кластер из 50 двухпроцессорных blade-серверов Fujitsu Siemens Computers на базе четырехъядерных процессоров

Intel Xeon 5365. Для НПО “Сатурн” корпорация IBM в сотрудничестве с компанией КРОК построит суперкомпьютер с быстродействием 8 TFLOPS, стоимость которого оценивается в 1.6 млн. долл. В сентябре 2005 года “старый” кластер предприятия с быстродействием 768 GFLOPS занимал 4-е место и был самым мощным суперкомпьютером, размещенным на промышленном предприятии (#6/2005).

Существенный импульс к развитию получит образование и наука. Согласно программе “СКИФ Университеты”, анонсированной в конце сентября 2007 года, ряд университетов России и Беларуси будет оснащен суперкомпьютерами СКИФ, а также получит возможность участвовать в крупной научной грид-сети “СКИФ Полигон”, которая формируется в соответствии с программой “СКИФ-ГРИД”. Ожидается, что к середине 2008 года суммарная мощность грид-сети “СКИФ Полигон” превысит 100 TFLOPS. Поставкой комплексных решений на базе суперкомпьютеров СКИФ, которые за семь лет развития из “штучных” изделий перешли в разряд массовых продуктов, будет заниматься компания Т-Платформы в сотрудничестве с Intel. Обучение и переподготовку специалистов возьмет на себя НИВЦ МГУ. Программная поддержка решения реальных задач ложится на Институт программных систем РАН (www.botik.ru/PSI/PSI.koi8.html).

Итоги последних двух лет

Живя в информационном обществе, мы постепенно привыкаем к стремительности развития ИТ. Если появляющиеся новинки “ложатся на прямую” на графике в логарифмическом масштабе (а это означает, что развитие идет бурно, по экспоненциальному закону), то воспринимается это как нечто само собой разумеющееся и уже практически не вызывает волнения на предмет того, что вот, мол, за какие-то год-полтора мы успели безнадежно отстать по какому-то параметру. Хотя маркетинговые службы компаний-миллиардеров (можно представить, какой бюджет у этих служб!) не устают нам повторять про всё самое-самое-самое.

В области аппаратных средств имеется хорошее антистрессовое подспорье в виде так называемого закона Мура, который еще в 1965 году сформулировал Gordon Moore, будущий основатель компании Intel. Уже более 40 лет этот закон предопределяет скорость удвоения количества транзисторов в микропроцессорах (сначала он был сформулирован для “простых” микросхем). В обобщенном виде он теперь применяется и для прогноза быстродействия микропроцессоров, ПК, суперкомпьютеров – любых компьютерных систем (рис. 6).

Итак, если рассматривать сферу HPC за последние два года, что же остается “в сухом остатке”?

1 В 2006 году на японском суперкомпьютере MDGrape-3, построенном специально для решения задач молекулярной динамики, впервые преодолен рубеж быстродействия в 1 PFLOPS.

2 Практически исчерпав возможности наращивания тактовой частоты для увеличения производительности микропроцессоров при одновременном ограничении его энергопотребления, компания Intel в начале

2007 года выпустила первый 4-ядерный процессор Intel Core 2 Quad.

Быстродействие нового процессора соответствует закону Мура. Для сохранения преемственности с более ранними процессорами в качестве единиц измерения использовано количество инструкций или операций, выполняемых процессором в секунду – **IPS (Instructions Per Second)** или **OPS (Operations Per Second)**. Корректнее, разумеется, было бы сравнить быстродействие процессоров с различной архитектурой на основе результатов специальных тестов.

К настоящему моменту все ведущие компании объявили о выпуске рабочих станций и серверов на базе новых процессоров. Недавно появилась возможность создавать рабочие станции и на базе 4-ядерных процессоров AMD.

Когда в 2005 году появились двухъядерные процессоры Intel и AMD (кстати, отметим, что двухъядерный процессор IBM Power4 был разработан в 2001 году), а затем и рабочие станции на их базе, проблема лицензирования приложений, приспособленных для параллельных вычислений, не стояла столь остро. Теперь, когда дальнейшее наращивание числа ядер в процессоре является только делом времени, разработчикам CAE-технологий необходимо определиться, каким образом взимать лицензионную плату – за каждое рабочее место или за каждое используемое рабочей станцией ядро процессора.

3 Появление на рынке многоядерных процессоров сделало возможным построение персонального (настольного) суперкомпьютера.

Сама идея появилась, вероятно, еще в середине 1990-х годов. В ноябре 2005 года на Конференции по суперкомпьютерам SC05 в Сिएтле (США), анонсируя выход компании Microsoft на рынок HPC с продуктом Microsoft Windows Computer Cluster Server 2003, акцент на это сделал Билл Гейтс. Он сказал, что в ближайшее время появятся персональные суперкомпьютеры, стоимость которых не будет превышать 10 000 долл.

Как и следовало ожидать, за реализацию идеи взялась небольшая компания. Хотя к настоящему моменту поставку персональных суперкомпьютеров предлагают уже несколько фирм, **первую серийную систему под брендом Personal Supercomputer (PSC) в 2006 году выпустила тайваньская Tyan Computer Corporation (www.tyan.com)**. Рискнем предположить, что именно этот факт привлек внимание корпорации MiTAC International (www.mitac.com), которая и приобрела упомянутую компанию в конце марта 2007 года. Бренд и все наработки теперь переданы специально созданной дочерней компании Scalable Servers Corporation (www.tyanpsc.com и www.scalableserverscorp.com).

Еще до своего присоединения к MiTAC компания Tyan разработала серию персональных суперкомпьютеров TyanPSC T-600 на базе 4-ядерных процессоров Quad-Core Intel Xeon L5320. Система может включать до 10-ти четырехъядерных процессоров; её быстродействие составляет 256 GFLOPS, энергопотребление – 1.4 kW, уровень шума – 52 dB, габариты – 53×36×70 cm (для сравнения: корпус типа Tower для рабочей

станции имеет габариты 41×17×47 cm). Система работает под управлением Microsoft Windows Computer Cluster Server 2003 или Linux. Цена суперкомпьютера с десятью 4-ядерными процессорами составляет от 30 000 долл. и зависит от комплектации другими устройствами.

Отметим, что на российском рынке похожее решение появилось довольно оперативно – персональный суперкомпьютер T-Edge Mini с быстродействием 297 GFLOPS был предложен российской компанией T-Платформы в середине 2007 года.

Появление персональных суперкомпьютеров делает инженерный анализ более доступным, поскольку большая часть работы по подготовке вариантов расчетов и проведение большинства прикидочных расчетов в процессе проектирования изделий могут быть сделаны инженером-аналитиком, не отходя от стола.

На наш взгляд, распространение персональных суперкомпьютеров обещает мощный качественный скачок в применимости параллельных вычислений (в том числе, в процессе проектирования изделия), подобный тому, что произошло в сфере обработки “общеупотребительной” информации после появления в 1981 году “обычного” персонального компьютера. Кстати сказать, на диаграмме производительности настольных систем (на рис. 6 она представлена кружочками зеленого цвета) наблюдается своеобразная ступенька, нарушающая плавность роста быстродействия в соответствии с заветами Гордона Мура ☺.

4 Идея персонального суперкомпьютера может быть доведена до своего логического завершения, когда эксперименты Intel воплотятся в выпуск серийного многоядерного процессора, и на его основе будет построена рабочая станция.

Такое развитие событий уже не является фантастикой, поскольку в начале 2007 года компания Intel представила экспериментальный 80-ядерный 64-bit процессор, который при тактовой частоте 3.16 GHz продемонстрировал быстродействие 1 TFLOPS (рис. 6). Маркетологи компании, представляя новое достижение, отметили, что первый суперкомпьютер с таким быстродействием был создан всего 13 лет назад. Проанализировав историю компьютерной эры, опираясь на этой цифре, сформулировали свой универсальный закон. Возможно, что он, как и закон Мура, выдержит проверку временем...

Таким образом, в 2007 году инженеры Intel создали экспериментальный суперкомпьютер на одном кристалле. Это не первый прорыв компании. В 1971 году она уже совершила ИТ-революцию, объединив на одном кристалле несколько используемых в настольном калькуляторе микросхем и выпустив на рынок первый микропроцессор 4004, радикально изменивший направление и темп развития информационных технологий.

Если применить новый закон, сформулированный маркетологами компании Intel, то получается, что к 2019 году для рядового инженера рутинной станет моделирование на *мегафлопсовом* персональном суперкомпьютере аэродинамики при проектировании очередного летательного аппарата... Что ж, будем посмотреть. Ждать осталось, в общем-то, недолго. ☺