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 стишке: "За время пути собака могла подрасти").

Поэтому не стóит 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).

HPC market size for 1999÷2006 and forecast for 2007

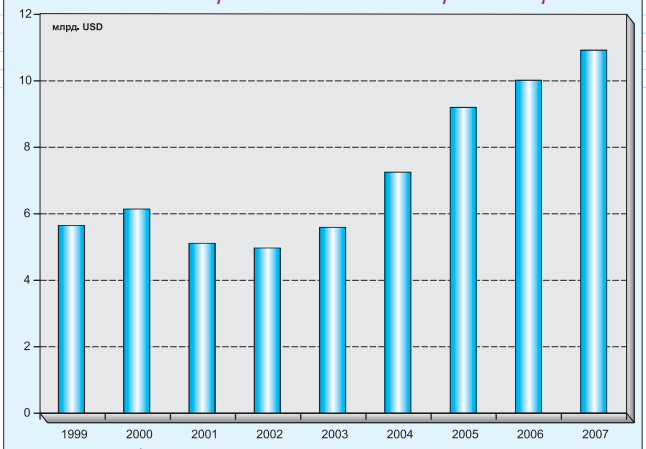

Рис. 1. Объем рынка систем высокопроизводительных вычислений в 1999÷2006 гг. и прогноз на 2007 г.

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*

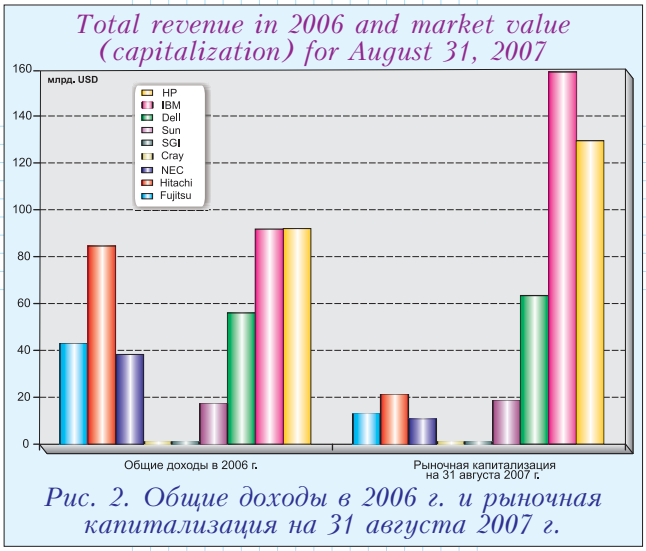

Рис. 2. Общие доходы в 2006 г. и рыночная капитализация на 31 августа 2007 г.

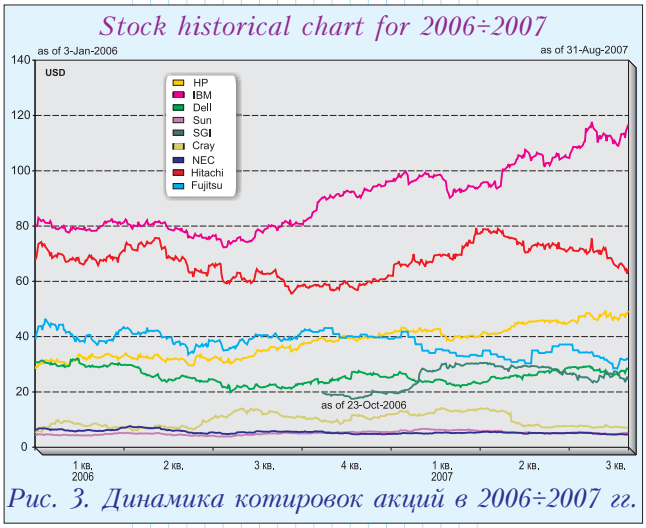

Рис. 3. Динамика котировок акций в 2006÷2007 гг.

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

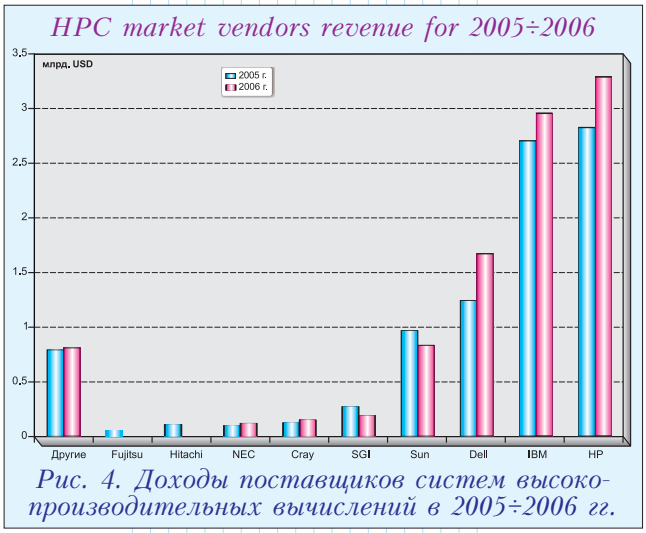

Рис. 4. Доходы поставщиков систем высокопроизводительных вычислений в 2005÷2006 гг.

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 ранках 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}	*zetta-*	*Z*
10^{18}	*exa-*	*E*
10^{15}	*peta-*	*P*
10^{12}	*tera-*	*T*
10^{9}	*giga-*	*G*
10^{6}	*mega-*	*M*
10^{3}	*kilo-*	*k*

Пример: 1 *zettaFLOPS* = 1 *ZFLOPS* =10^{21} *FLOPS*

Amount (left) and total performance (right) of supercomputers, listed in Top500 (2005÷2007, 26th÷29th lists), from leaders of HPC market

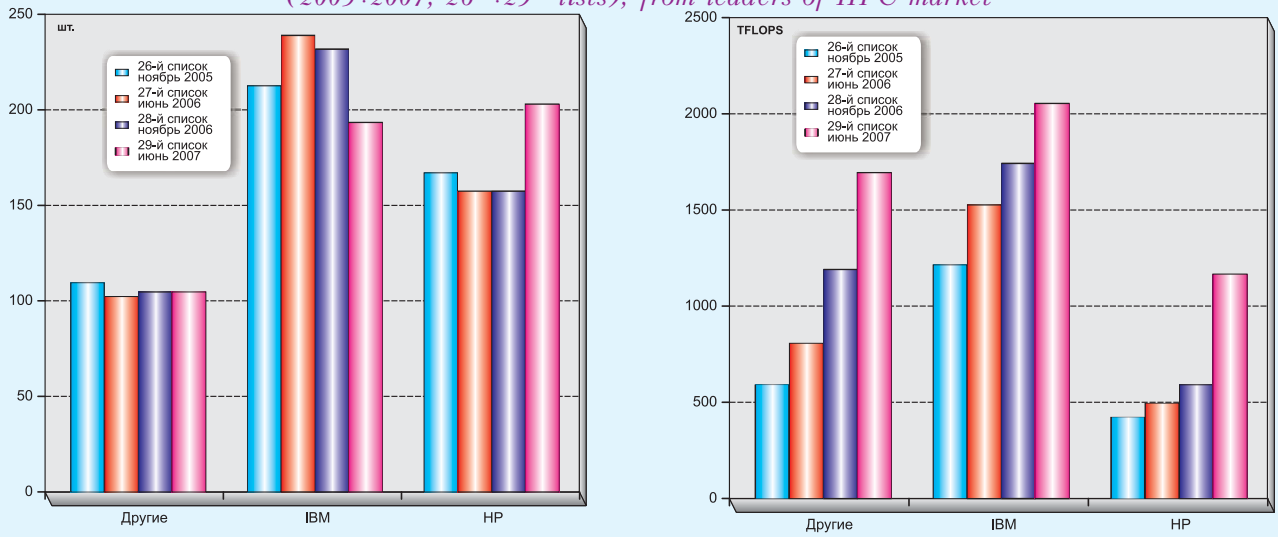

Рис. 5. Количество (слева) и суммарное быстродействие (справа) суперкомпьютеров, включенных в Top500 (списки 26÷29, 2005÷2007 гг.), от лидеров рынка HPC

выполняемых в секунду – ***FLOPS*** (***FL****oating point* ***O****perations* ***P****er* ***S****econd*). 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

Performance of computers & supercomputers for 1946÷2007, processors & personal (desktop) computers for 1971÷2007, and plans for 2007÷2010

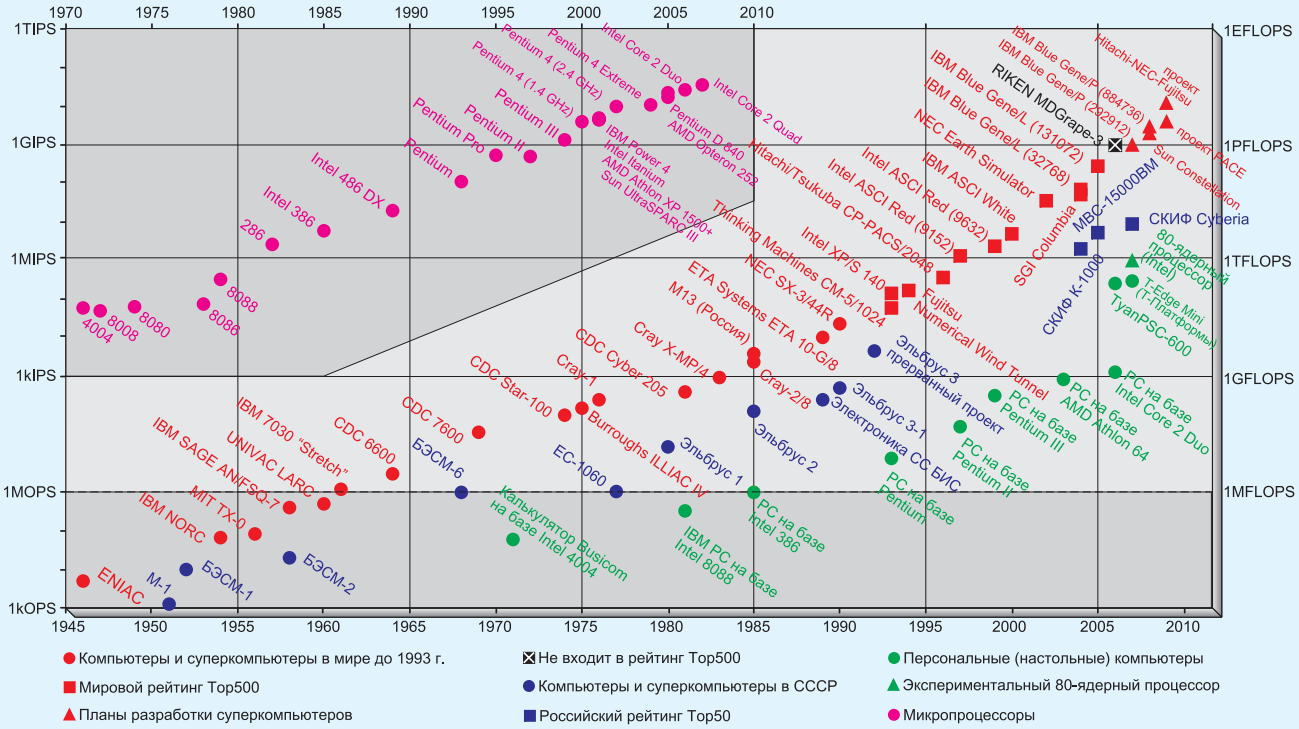

Рис. 6. Быстродействие компьютеров и суперкомпьютеров в 1946÷2007 гг., процессоров и ПК в 1971÷2007 гг., а также планы на 2007÷2010 гг.

"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 зла́та завораживает, но не всё измеряется деньгами, поэтому не сто́ит 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 процессоро-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 процессоров *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 supercomputers: amount (left) and total performance (right) of systems, listed in Top500 (2005÷2007, 26th÷29th lists)

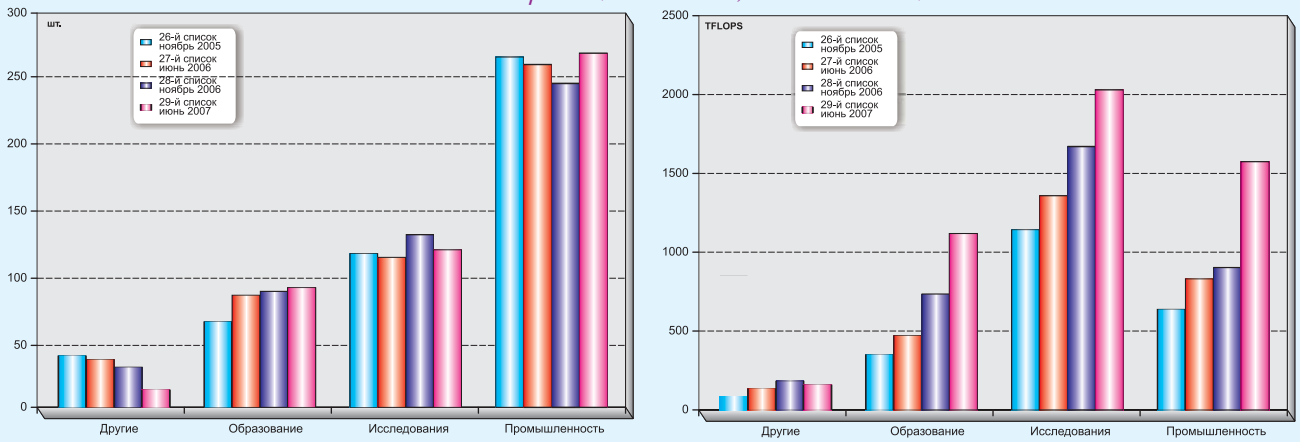

Рис. 7. Области применения суперкомпьютеров: количество (слева) и суммарное быстродействие (справа) систем, включенных в Top500 (списки 26÷29, 2005÷2007 гг.)

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

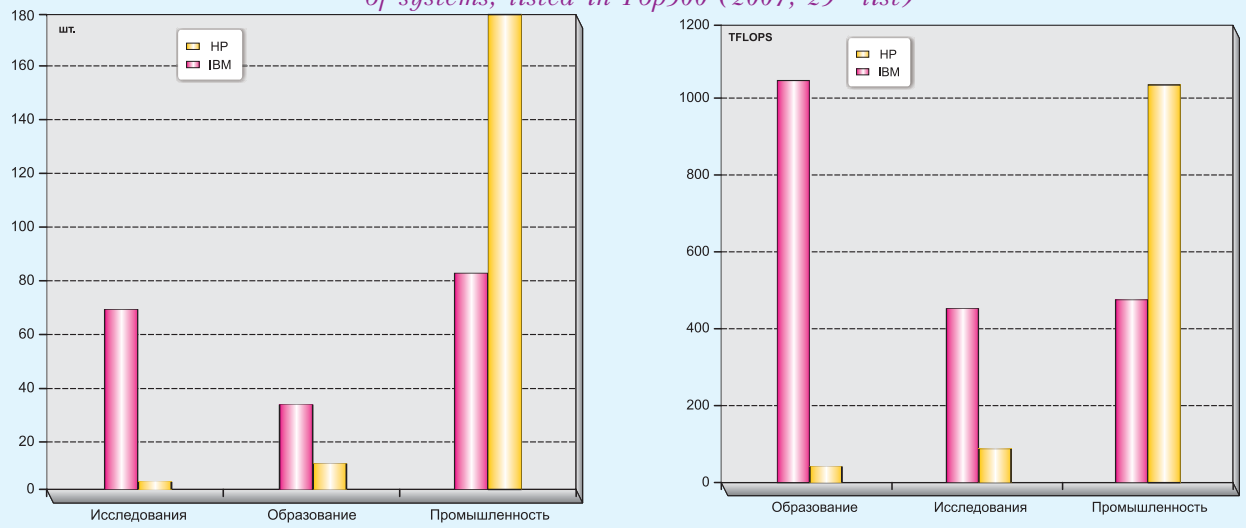

Рис. 8. Области применения суперкомпьютеров компаний IBM и HP: количество (слева) и суммарное быстродействие (справа) систем, включенных в Top500 (29-й список, 2007 г.)

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

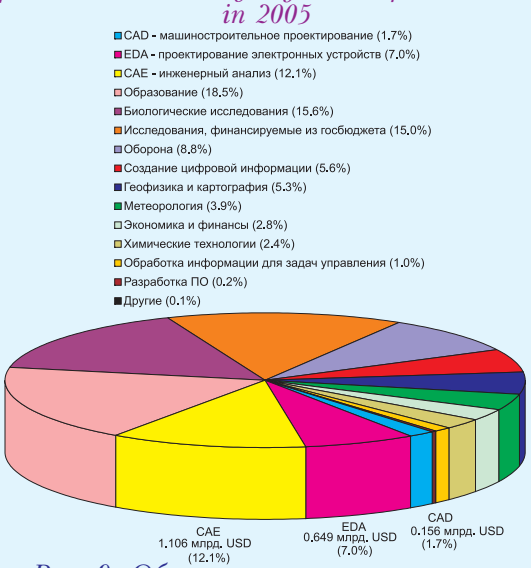

Рис. 9. Области применения систем высокопроизводительных вычислений в 2005 г.

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 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).

Таблица 3. Эра электронных компьютеров – вехи развития

1946 г.	*ENIAC* – первый электронный компьютер
1971 г.	*Intel 4004* – первый 4-*bit* микропроцессор
1972 г.	*Intel 8008* – первый 8-*bit* микропроцессор
1976 г.	*Cray* – первый суперкомпьютер
1978 г.	*Intel 8086* – первый 16-*bit* микропроцессор
1981 г.	*IBM PC* – первый персональный компьютер
1985 г.	*Intel 386* – первый 32-*bit* микропроцессор
2001 г.	• *Intel Itanium* – первый 64-*bit* микропроцессор • *IBM Power4* – первый двухъядерный микропроцессор с сокращенным набором команд (*RISC – Reduced Instruction Set Computing*)
2005 г.	*AMD Opteron 252* и *Intel Pentium D* – первые двухъядерные микропроцессоры с полным набором команд
2006 г.	*TyanPSC-600* – по-видимому, первый персональный (настольный) суперкомпьютер
2007 г.	• *Intel Core 2 Quad Q6700* – первый четырехъядерный микропроцессор • экспериментальный 80-ядерный микропроцессор от *Intel*

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.

Supercomputers in developed and emerging regions: amount (left) and total performance (right) of systems, listed in Top500 (2005÷2007, 26th÷29th lists)

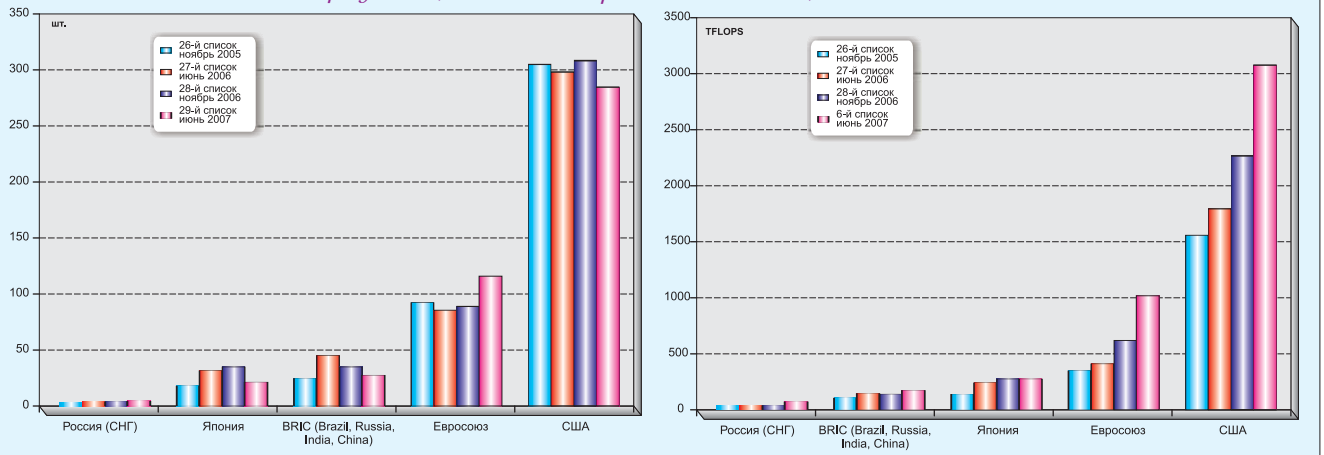

Рис. 10. Суперкомпьютеры в развитых и развивающихся регионах мира: количество (слева) и суммарное быстродействие (справа) суперкомпьютеров, включенных в Top500 (списки 26÷29, 2005÷2007 гг.)

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 выступят 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 сто́ит ли тратить огромные деньги и устраивать *петафлопсовые* 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 *СКИФ Cyberia* с быстродействием 9 *TFLOPS*, разработчиком которого является российская компания *Т-Платформы* (www.t-platforms.ru).

✓ 187-е и 265-е места получили *МВС-15000ВМ* и *МВС-5000ВМ*, которые работают в образованном в 1996 году Междуведомственном суперкомпьютерном центре (www.jscc.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.

Бóльшая часть суперкомпьютеров, вошедших в *Top50*, создана следующими организациями (рис. 11, вверху):

- СКИФ (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

Amount (top) and total performance (bottom) of supercomputers, listed in Top50 (2005÷2007, 3rd÷7th lists), from world and Russian leading vendors

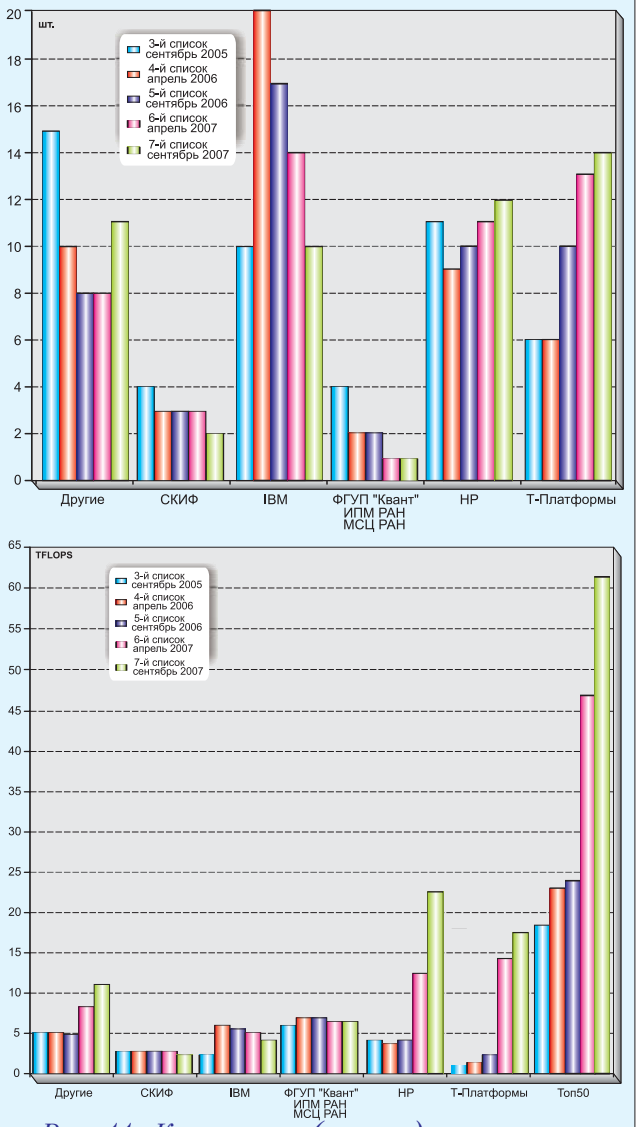

Рис. 11. Количество (вверху) и суммарное быстродействие (внизу) суперкомпьютеров, включенных в Top50 (списки 3÷7, 2005÷2007 гг.), сгруппированное по их производителям

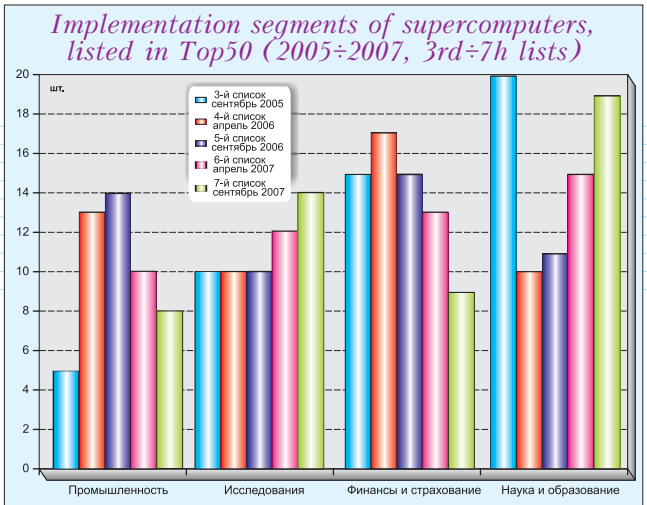

Рис. 12. Области применения суперкомпьютеров, включенных в Top50 (списки 3÷7, 2005÷2007 гг.)

суммарную производительность, то после установки *СКИФ 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 *СКИФ 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 "ММПП "Салют" поступил заказ компании "Ай-Теко" (*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*** (***I**nstructions **P**er **S**econd*) или ***OPS*** (***O**perations **P**er **S**econd*). 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 *SC/05* в Сиэтле (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 сделает 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, они, базируясь 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 рутиной станет моделирование на *петафлопсовом* персональном суперкомпьютере аэродинамики при проектировании очередного летательного аппарата… Что ж, будем посмотреть. Ждать осталось, в общем-то, недолго.