

# Системы высокопроизводительных вычислений: достижения 2008÷2009 годов

## Часть II

Сергей Павлов, Dr. Phys. (Observer)

sergey@cadcamcae.lv

*“Ну, а здесь, знаешь ли, приходится бежать со всех ног, чтобы только остаться на том же месте! Если же хочешь попасть в другое место, тогда нужно бежать, по меньшей мере, вдвое быстрее!”*  
 Льюис Кэрролл, “Алиса в Зазеркалье”

*“Технологии будущего создаются уже сегодня”*  
 Вольный перевод торговой марки  
 “Intel sponsors tomorrow”

Когда полгода назад (#5/2009) был подготовлен предыдущий обзор ([www.cadcamcae.lv/hot/HPC\\_n49\\_p81.pdf](http://www.cadcamcae.lv/hot/HPC_n49_p81.pdf)), у автора было смутное ощущение, что в текущем году этим дело не ограничится, что вряд ли удастся обойти вниманием ноябрьский *Top500* и отложить “перо” аж на целый год – до июньского топа 2010-го года. Предчувствия его не обманули.

На сей раз, чтобы не повторять устоявшуюся структуру предыдущих обзоров, возникло желание представить информацию несколько под другим углом зрения: сделать преимущественно “процессорный срез” суперкомпьютерного топа, выделив также немного места и перспективным технологиям производства “первокирпичиков” современного здания информационных технологий.

Идея такого взгляда на вещи появилась по завершении первого обзора рынка систем моделирования в электронике ([www.cadcamcae.lv/hot/EDA\\_n51\\_p72.pdf](http://www.cadcamcae.lv/hot/EDA_n51_p72.pdf)) в предыдущем номере. При этом мы не собираемся отказываться от “традиционной ориентации” нашего интереса – он, как и прежде, направлен на достижения в области CAE-технологий, на расширение возможностей применения параллельных вычислений, HPC-технологий и высокопроизводительных вычислительных систем, построенных на базе многоядерных процессоров, в таких сферах, как моделирование и инженерный анализ.

За истекшие полгода прошло немало различных мероприятий, в организации которых принимали участие ньюсмейкеры, работающие в интересующих нас отраслях. К наиболее значимым, по всей вероятности, относятся следующие:

- 23÷25 августа в Стэнфордском университете (штат Калифорния, США) состоялся 21-й ежегодный симпозиум “Hot Chips 2009”, посвященный высокопроизводительным микропроцессорам ([www.hotchips.org](http://www.hotchips.org));
- 22÷24 сентября в гор. Сан-Франциско (штат Калифорния, США) компания Intel провела свой ежегодный форум “IDF 2009” (Intel Developer Forum), посвященный технологиям в микроэлектронике и тенденциям их развития ([www.intel.com/idf](http://www.intel.com/idf));
- 1-го октября в гор. Детройте (штат Мичиган, США) компания Hewlett-Packard провела свой 20-й ежегодный симпозиум “20<sup>th</sup> Annual HP CAE Symposium”, посвященный тенденциям развития технологий вычислительного инженерного анализа (computational engineering) ([www.hp.cpm/go/cae](http://www.hp.cpm/go/cae));

- 11 ноября в гор. Sunnyvale (штат Калифорния, США) состоялся форум “2009 Financial Analyst Day”, организованный компанией AMD;

• 14÷20 ноября в гор. Портленд (штат Орегон, США) проходила 22-я международная конференция “SC 2009” (SuperComputing), посвященная HPC-технологиям ([www.supercomputing.org](http://www.supercomputing.org)). Такие конференции проводятся с 1988 года;

• 24 ноября в Москве проводился ежегодный симпозиум компании Intel “Высокопроизводительные вычисления” (кратко – Intel HPC 2009).

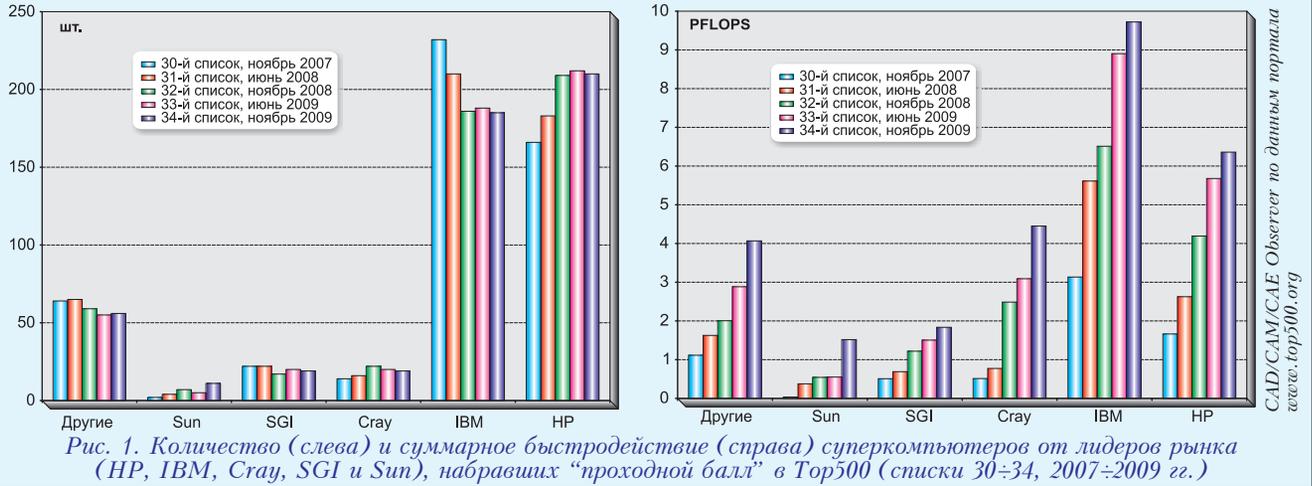
Были опубликованы и появляющиеся с периодичностью раз в полгода топы, среди которых наиболее интересные для нас следующие:

- 22 сентября был обнародован 11-й список Top50 самых высокопроизводительных компьютеров России и СНГ ([www.supercomputers.ru](http://www.supercomputers.ru));
- 16 ноября на конференции SC 2009 был представлен 34-й список рейтинга Top500, охватывающего самые мощные суперкомпьютеры в мире ([www.top500.org](http://www.top500.org));
- в то же время был представлен и 6-й список Green500 – рейтинг энергоэффективности суперкомпьютеров, входящих в Top500 ([www.green500.org](http://www.green500.org)).

Помимо этого, немало информации о новейших достижениях было распространено маркетинговыми и рекламными службами отдельных компаний.

Угнаться за всеми новостями, в которых говорится о развитии передовых технологий и выпуске инновационных изделий в интересующих нас сегментах рынка информационных технологий, мы не сможем чисто физически. А читателям для осознания этого факта можно порекомендовать самостоятельно сделать прикидки маркетинговых и рекламных бюджетов компаний, если суммарный оборот мировой полупроводниковой промышленности в 2009 году оценивается суммой в 226 млрд. долл., а объем HPC-сегмента серверного рынка – более 10 млрд. долларов. Поэтому мы, как потребители продукции этих отраслей, не будем поддаваться на удочку маркетинговых служб, которые нас всё время пытаются убедить в необходимости немедленных апгрейдов. Зачастую это создает непроходящее ощущение отставания от передовых рубежей. Попробуем, насколько возможно, разглядеть в калейдоскопе новостей те события, которые можно рассматривать как важные шаги в развитии технологий. Это поможет нам, как потребителям, соотнести свойства новых технологий с нашими потребностями в решении

Amount (left) and total performance (right) of supercomputers, listed in Top500 (2007÷2009, 30<sup>th</sup>÷34<sup>th</sup> lists), from HP, IBM, Cray, SGI and Sun



стоящих перед нами задач, чтобы естественное желание ввода инноваций согласовывалось с соображениями эффективности необходимых для этого инвестиций.

Поскольку мы будем касаться как уже свершивших событий, так и аносов, то изложение будет вестись не в хронологической, а в логической последовательности – ведь зафиксированный на пластине “дагеротип” уже не зависит от момента экспонирования и навсегда интегрирует в единое изображение все запечатленные “картинки”.

### HPC-технологии на службе инженерного анализа

Значительно повысить эффективность применения CAE-технологий в процессе разработки машиностроительных изделий позволит применение HPC-технологий, когда они будут предлагаться в виде специально оптимизированных конечных продуктов. На наш взгляд, наиболее интересные из них следующие:

✓ В первой половине 2010 года компания Intel выпустит не только 8-ядерный Nehalem-EX, но и 6-ядерный вариант этого микропроцессора, специально

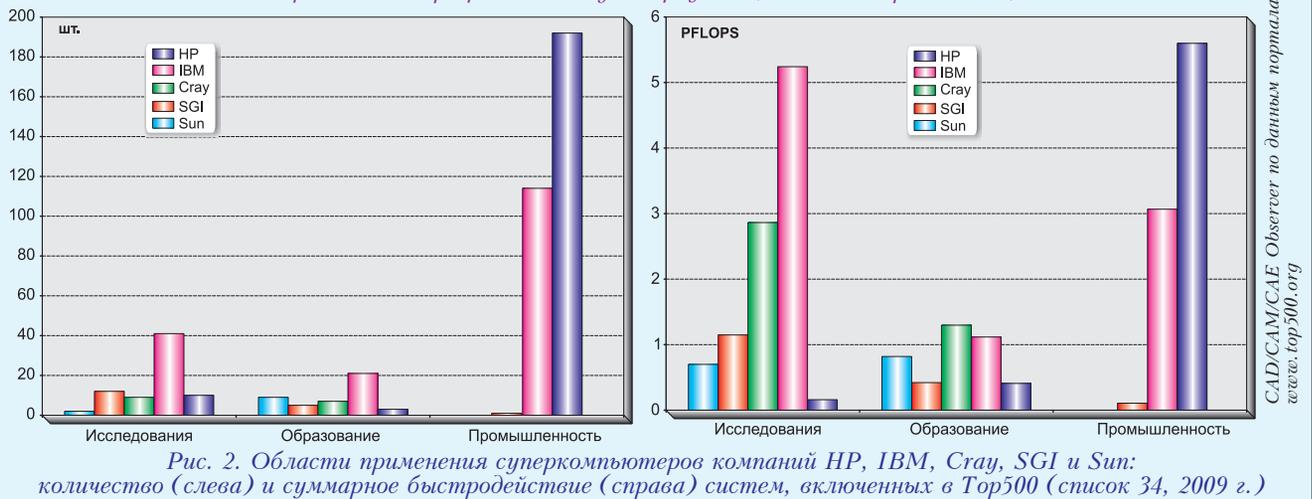
оптимизированный для применения в HPC-системах. Выпуск подобного продукта осуществляется, по всей вероятности, впервые.

✓ Относительно недавно персональный суперкомпьютер (ПСК) достиг важной отметки быстродействия в 1 TFLOPS. Поставщики продолжают выпуск новых моделей ПСК и поиски наиболее эффективной конфигурации.

Компания Cray выпустила так называемую “интегрированную рабочую станцию” (Integrated WorkStation – iWS), которая сочетает возможности кластера, работающего под управлением ОС Microsoft Windows HPC Server 2008, и рабочей станции, работающей под Windows 7. Новый продукт Cray CX1-iWS будет распространяться исключительно по каналам компании Dell.

По-новому зазвучавший бренд SGI (о поглощении компанией Rackable System компании Silicon Graphics, Inc. мы писали в летней части нашего обзора) появился в названии нового продукта – персонального суперкомпьютера SGI Octane III на базе процессора Intel Atom. Быстродействие максимальной конфигурации,

Implementation segments of HP, IBM, Cray, SGI and Sun supercomputers: amount (left) and total performance (right) of systems, listed in Top500 (2009, 34<sup>th</sup> list)



Amount of supercomputers, listed in Top500 (2005÷2009, 26<sup>th</sup>÷34<sup>th</sup> lists), based on multicore processors

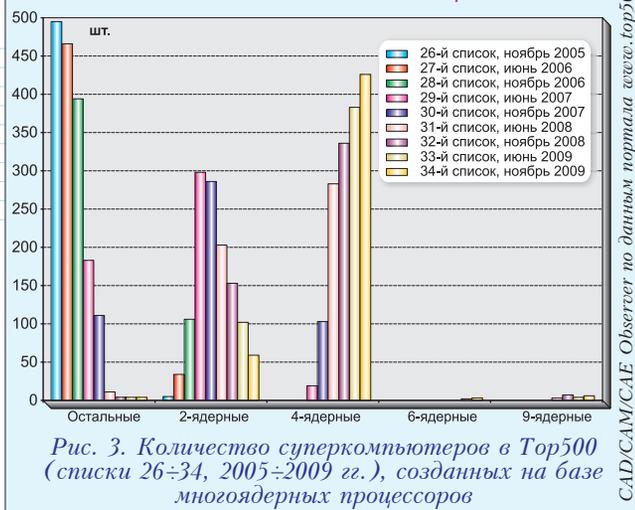


Рис. 3. Количество суперкомпьютеров в Top500 (списки 26÷34, 2005÷2009 гг.), созданных на базе многоядерных процессоров

содержащей до 80 процессорных ядер, достигает отметки в 1 TFLOPS.

✓ Персональные суперкомпьютеры начинают выпускаться компаниями, которые завоевали известность на другом рынке – обычных персональных компьютеров. Это свидетельствует о начале проникновения HPC-технологий на “дружественные” территории.

В качестве примера можно привести новый продукт компании ASUS – ESC 1000, построенный на базе процессора Intel Xeon W3580 и графических карт NVIDIA Tesla C1060. Ожидается, что при производительности в 1.1 TFLOPS цена этого ПСК будет составлять порядка 15 000 долларов.

✓ Компания Microsoft ведет разработку экспериментальной операционной системы Barrelfish. В работе участвуют специалисты Швейцарской высшей технической школы Цюриха (Eidgenössische Technische Hochschule Zürich или Swiss Federal Institute of Technology Zurich). Новая ОС будет оптимизирована для работы в HPC-системе с большим числом процессорных ядер.

Amount of supercomputers, listed in Top500 (2007÷2009), based on definite number of processors (29<sup>th</sup>÷31<sup>st</sup> lists) or processor cores (32<sup>nd</sup>÷34<sup>th</sup> lists)

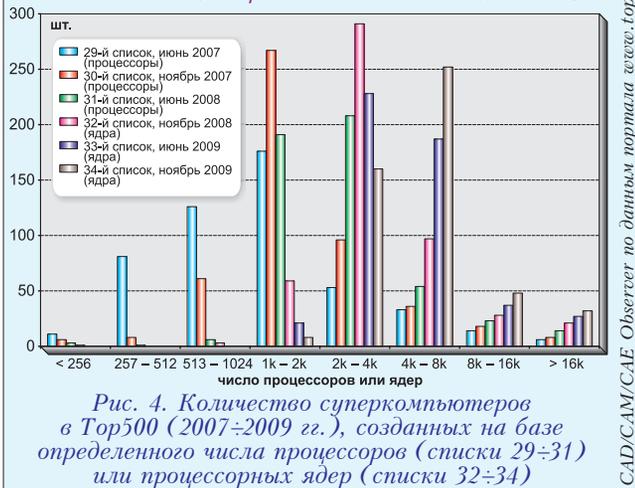


Рис. 4. Количество суперкомпьютеров в Top500 (2007÷2009 гг.), созданных на базе определенного числа процессоров (списки 29÷31) или процессорных ядер (списки 32÷34)

✓ Компания Intel разработала технологию Ct. Применение технологии облегчит создание программ для суперкомпьютеров, написанных на языках C и C++, поскольку предоставляет возможность автоматизированного распараллеливания кода, предназначенного для систем с многоядерными процессорами.

✓ В рамках готовящегося релиза ANSYS 12.1, появление которого ожидается к концу года, компания ANSYS готовит новый продукт – ANSYS HPC. В продукте будет реализовано единое решение для расчета электромагнитного, гидродинамического, теплового полей и прочности модели изделия. Это решение не требует наличия отдельных лицензий на каждый из солверов для каждого физического поля. Предполагается гибкое использование имеющихся у пользователей HPC-лицензий.

✓ Компания COMSOL, по всей видимости, является первой, которая позволила пользователям, обладающим “плавающей сетевой лицензией” (floating network licence), применять свой продукт COMSOL Multiphysics для суперкомпьютерных вычислений без взимания дополнительной платы за каждое дополнительное ядро процессора при любом количестве используемых узлов кластера.

Как видим, новые технологии наступают по всему фронту и охватывают и аппаратные средства, и системное программное обеспечение, и прикладные программы.

Теперь перейдем к анализу рекордных достижений на мировом рынке суперкомпьютеров, представленных в Top500. Результаты российского рейтинга Top50, успешного заметно устареть за период с 23 сентября по 16 ноября, будут использованы как материал для сравнения.

## Лидеры мирового рейтинга суперкомпьютеров Top500

Кратко остановимся на самых интересных, с нашей точки зрения, событиях и фактах, зафиксированных в новейшем 34-м списке рейтинга Top500.

✓ С момента начала публикаций Top500 в июне 1993 года, список впервые возглавил бренд Cray, который для многих автоматически ассоциируется с понятием “суперкомпьютер”.

Amount of supercomputers, listed in Top500 (2007÷2009), based on extreme number of processors (29<sup>th</sup>÷31<sup>st</sup> lists) or processor cores (32<sup>nd</sup>÷34<sup>th</sup> lists)

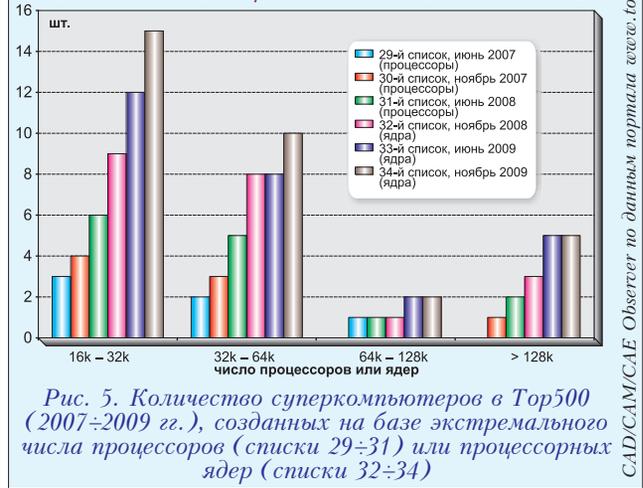


Рис. 5. Количество суперкомпьютеров в Top500 (2007÷2009 гг.), созданных на базе экстремального числа процессоров (списки 29÷31) или процессорных ядер (списки 32÷34)

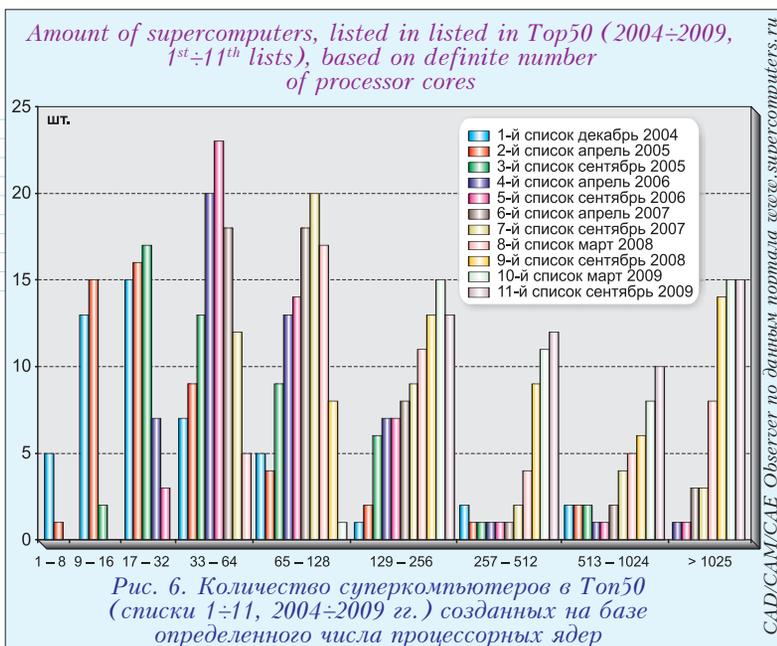


Рис. 6. Количество суперкомпьютеров в Top50 (списки 1÷11, 2004÷2009 гг.) созданных на базе определенного числа процессорных ядер

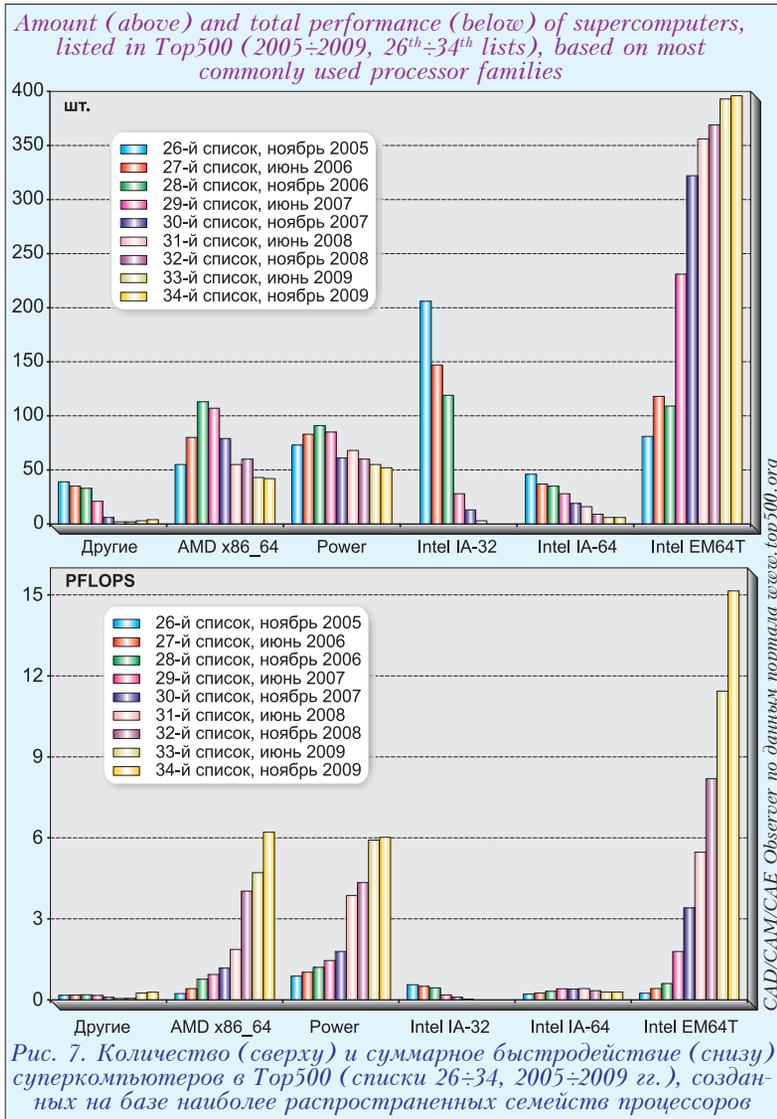


Рис. 7. Количество (сверху) и суммарное быстродействие (снизу) суперкомпьютеров в Top500 (списки 26÷34, 2005÷2009 гг.), созданных на базе наиболее распространенных семейств процессоров

Суперкомпьютер *Jaguar* от компании *Cray* установил **новый рекорд быстродействия – 1.759 PFLOPS**. Рекордной системой пополнила свои вычислительные мощности одна из ведущих национальных научно-исследовательских лабораторий США – *Oak Ridge National Laboratory* в городе Оук Ридж, штат Теннесси ([www.ornl.gov](http://www.ornl.gov)). Это важный шаг в направлении следующей важной вехи быстродействия – 1 EFLOPS, для достижения которой Оукриджская лаборатория, вместе с другой национальной лабораторией - *Sandia National Laboratories* в Альбукерке, штат Нью-Мексика ([www.sandia.gov](http://www.sandia.gov)), создала Институт перспективных архитектур (*Institute for Advanced Architectures – IAA*).

✓ На втором месте *Top500* остался суперкомпьютер *Roadrunner* (в переводе – калифорнийская бегающая кукушка) от *IBM*, который до этого три раза, начиная с 31-го списка, поднимался на высшую ступеньку пьедестала почета. Интересно, что показатель его рекордного быстродействия в 31-м списке (1.026 PFLOPS), чуть-чуть возросший в 32-м (1.105 PFLOPS), в текущем 34-м списке чуть-чуть снизился – до отметки 1.042 PFLOPS. Создается впечатление, что одним и побудительных мотивов таких “тонких настроек” могло быть желание не пропустить в лидеры 32-го списка *Cray XT5 Jaguar* с быстродействием 1.059 PFLOPS.

✓ **Впервые высокое 5-е место занял китайский суперкомпьютер “TH-1”** или “*Tianhe-1*”, название которого в *Top500* переводится на английский язык как “*River in the Sky*” (дословный перевод – “Небесный поток”, а очень вольная интерпретация автора – “Ливень знаний, который Всевышний пролил на Поднебесную” ☺). Реальное быстродействие системы, зафиксированное тестами *LINPACK*, составляет 563 TFLOPS, а пиковое (расчетное) быстродействие – 1.206 PFLOPS. Этот суперкомпьютер петафлопсового уровня является собственной китайской разработкой, которая выполнена в Национальном университете оборонных технологий (*National University of Defense Technology – NUDT*). Система построена на процессорах *Xeon* от компании *Intel*, а в качестве акселераторов использовались графические процессоры от *AMD*.

✓ Хотя лидерами *Top500* считаются системы, вошедшие в первую десятку, мы позволим себе её расширить до дюжины. **Впервые на 12-е место поднялся российский компьютер.** Виновником торжества стал супервычислитель “*Ломоносов*”, установленный в Научно-исследовательском вычислительном центре ИГУ им. М.В.Ломоносова ([srcc.msu.su](http://srcc.msu.su)). Достигнуто реальное быстродействие 350.1 TFLOPS, а пиковая производительность – 414.4 TFLOPS (то есть эффективность составляет 84.5%).

Система разработана компанией “Т-Платформы”, которая теперь позиционирует себя в качестве “крупнейшего российского холдинга, предоставляющего полный спектр решений и услуг в области высокопроизводительных вычислений”.

При построении системы основным вычислительным узлом служило “лезвие” *T-Blade2*; их число превысило 90% от общего числа узлов 4446. Новый вычислительный узел *T-Blade2* рассчитан на перспективу и позволяет создавать суперкомпьютеры петафлопсового уровня. Основным процессором стал *Intel Xeon X557*. Общее число процессоров составило 8892, а процессорных ядер – 35 778. Помимо *T-Blade 1.1* и платформа на базе процессора *PowerXCell 8i* от *IBM* (недавно компания объявила, что в дальнейшем она не будет заниматься развитием процессоров на базе архитектуры *Cell*).

Создание подобного супервычислителя, безусловно, является крупным достижением, одним из первых шагов реализации программы ускоренного развития суперкомпьютерной отрасли, которую выдвинул Президент РФ летом этого года. Несколько странно выглядит отсутствие официального пресс-релиза производителя суперкомпьютера о столь важном событии в период с 16 ноября по 25 ноября, когда после публикации *Top500* ожидалось участие Д.А. Медведева в презентации суперкомпьютера.

## Ведущие производители суперкомпьютеров из Top500

По количеству установленных суперкомпьютеров лидером трех последних списков (ноябрь 2008 г., июнь и ноябрь 2009 г.) является корпорация *HP*, построившая 209, 212 и 210 систем из пятисот соответственно. Показатели *IBM* – 186, 188 и 185 систем соответственно (рис. 1, слева).

Компании *Cray*, *SGI* и *Sun* могут похвастаться на порядок меньшим числом установленных систем – в ноябре 2009 года их было 19, 19 и 11 соответственно.

В аспекте суммарного быстродействия всех установленных систем бесспорным лидером *Top500* является *IBM* (рис. 1, справа). В рассматриваемый период этот показатель имел значения 6.5, 8.9 и 9.7 *PFLOPS* соответственно. Для суперкомпьютеров *HP* этот важнейший параметр был равен 4.2, 5.7 и 6.4 *PFLOPS* соответственно.

Суммарная производительность систем *Cray*, *SGI* и *Sun* за прошедший год перевалила за петафлопс – в ноябре 2009 года этот показатель оказался равным 4.5, 1.8 и 1.5 *PFLOPS* соответственно. Впечатляющий скачок наблюдается у компании *Cray*: если в ноябре 2007 году производительность её супермашин отставала от показателя лидирующей *IBM* в 6.1 раза, то в ноябре 2009 года – только в 2.2 раза.

Наибольшее количество суперкомпьютеров установлено в промышленности. Лидерами 34-го

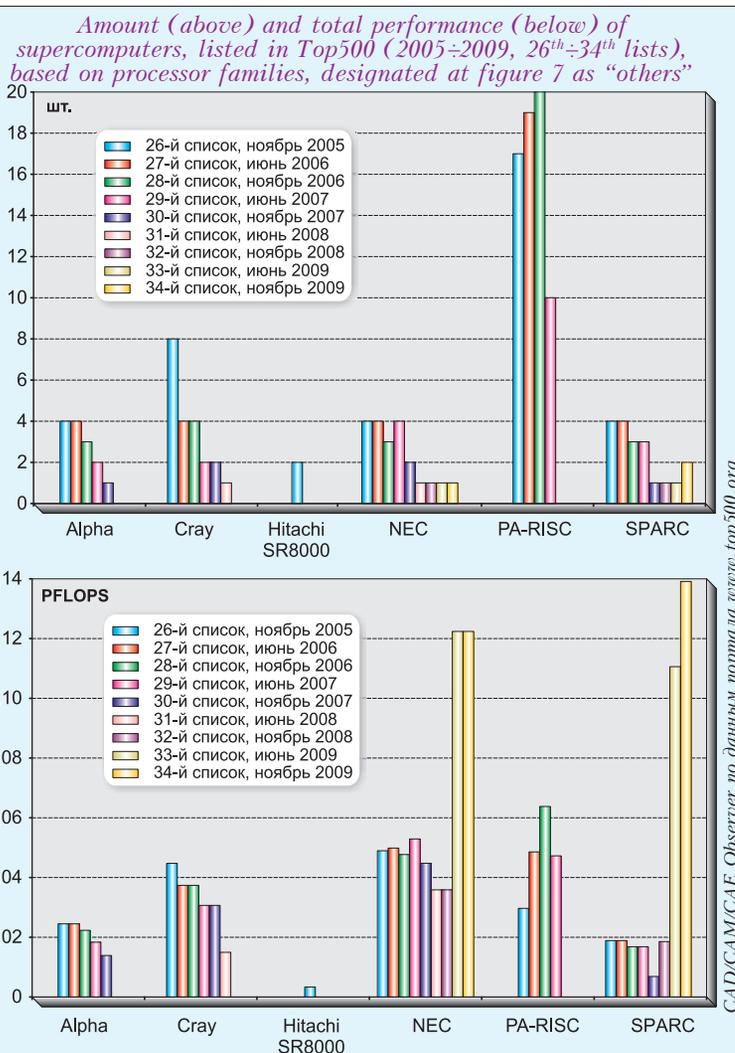


Рис. 8. Количество (сверху) и суммарное быстродействие (снизу) суперкомпьютеров в Top500 (списки 26÷34, 2005÷2009 гг.), созданных на базе семейств процессоров, обозначенных на рис. 7 как “другие”

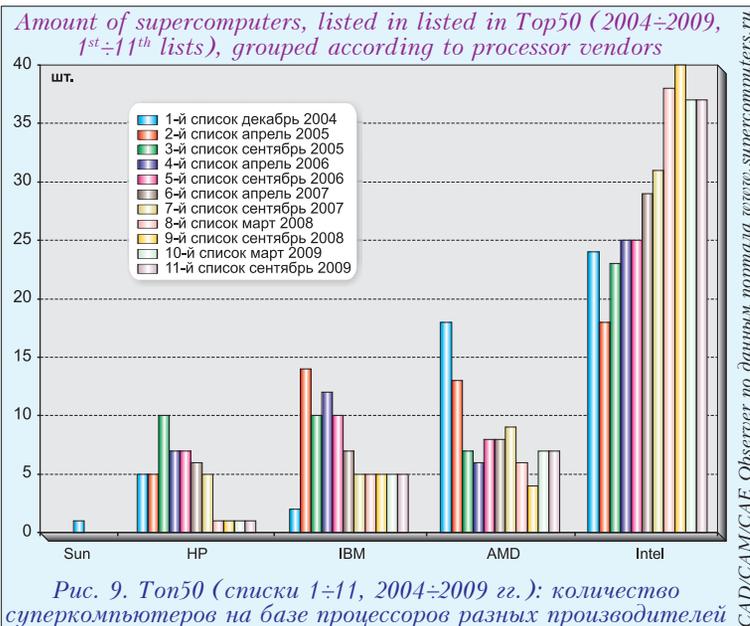
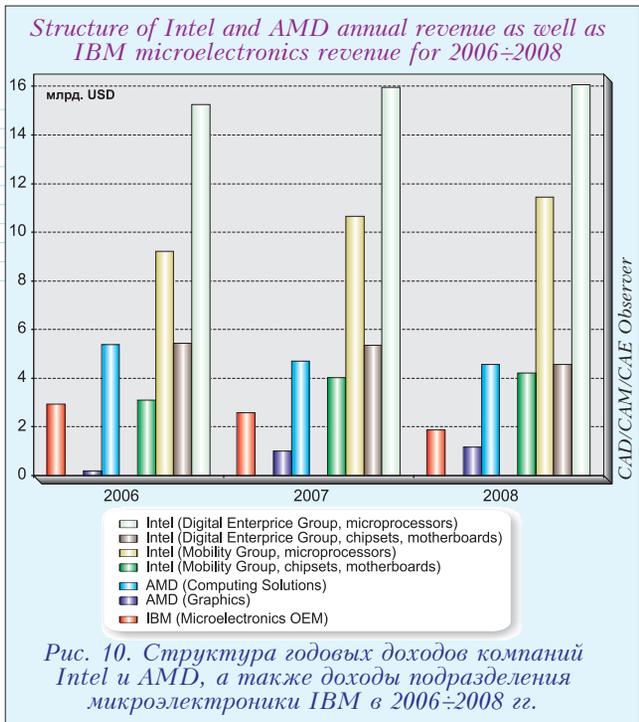


Рис. 9. Top50 (списки 1÷11, 2004÷2009 гг.): количество суперкомпьютеров на базе процессоров разных производителей

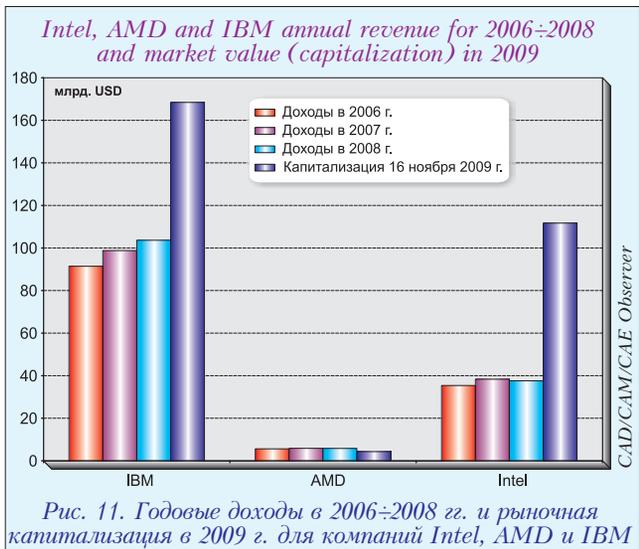


списка здесь являются HP и IBM – с 192 и 114 системами. У SGI в промышленности работает только одна система, а у Cray и Sun их нет вовсе (рис. 2, слева). По суммарному быстродействию инсталлированные в промышленности системы с брендом HP превосходят системы от IBM (рис. 2, справа) – 5.6 и 3.1 PFLOPS соответственно.

Лидером в области научных исследований является “Голубой гигант” – его 41 система обеспечивает суммарное быстродействие 5.2 PFLOPS. На 2-м месте Cray – 9 систем этой компании дают на-гора 2.9 PFLOPS.

В сфере образования первенство теперь принадлежит Cray – семь систем демонстрируют 1.3 PFLOPS; IBM с 21 системой здесь проигрывают – 1.1 PFLOPS.

Обратим внимание и на показатели компании Sun – в 34-м списке её позиции значительно улучшились, по сравнению с ситуацией полгода или год назад. Однако о



финансовых показателях мы сможем узнать только после публикации отчета за 2009 год. Пока, из-за отказа Евросоюза утвердить поглощение Sun компанией Oracle, приходится слышать, что клиенты Sun “пачками” переходят в IBM и HP, и кошелек “Солнца” каждый месяц “худеет” на 100 млн. долларов...

Теперь перейдем к анализу “первокирпичиков”, из которых построены суперкомпьютеры, включенные в Top500.

### Число процессоров и процессорных ядер в суперкомпьютерах

Процессоры, содержащие более одного ядра, в конструкции суперкомпьютеров впервые появились в июне 2002 году (19-й список Top500), когда компания IBM начала строить свои системы на базе своего же процессора POWER4, созданного годом раньше. По совместительству POWER4 оказался еще и первым в мире двухъядерным процессором. Компания IBM специализируется на разработке микропроцессоров с ограниченным набором команд (Reduced Instruction Set Computer – RISC). Название процессора тоже является акронимом: POWER расшифровывается как Performance Optimization With Enhanced RISC – оптимизация производительности на базе усовершенствованной архитектуры RISC.

Расчитанные на массовое применение двухъядерные процессоры на базе архитектуры x86 с полным набором команд появились в 2005 году, когда вечные конкуренты выпустили процессоры AMD Opteron 252 и Intel Pentium D.

С тех пор архитектура процессоров постоянно совершенствуется; выпускаются новые модели, в которых, по мере созревания технологий, увеличивается и число ядер. В настоящее время доступны 2-, 4-, 6- и 9-ядерные процессоры.

Такой важный ресурс увеличения производительности компьютеров не мог пройти мимо создателей супервычислителей. На рис. 3 представлена статистика числа систем, построенных на базе многоядерных процессоров, начиная с ноября 2005 года, когда был опубликован 26-й список Top500. В настоящее время наиболее популярны разные модели 4-ядерных процессоров Intel Xeon, новейшая из которых – Nehalem-EP. Своего пика популярности 4-ядерные процессоры, по-видимому, еще не достигли, хотя в 34-й список вошло уже 426 систем (более 80%), построенных на их базе. Началось применение 6-ядерных процессоров от AMD (две системы в июне и три – в ноябре 2009 года), на которых построено крейвские суперкомпьютеры, занявшие 1-е и 3-е места в текущем топе. Уже полтора года в строительстве супервычислителей применяются айбизмовские 9-ядерные процессоры PowerXCell 8i. А вот времена 2-ядерных уже уходят – пик их применения в суперкомпьютерах пришелся на июнь 2007 года, когда на их базе было создано 298 систем.

Для 34-го списка Top500 характерно, что наиболее популярное число ядер в одной системе находится в пределах от 4k до 8k, где k = 1024. Таких систем оказалось 252 (рис. 4). В течение полутора лет – в июне и ноябре 2008 года и в июне 2009 года – наиболее популярное число ядер в одной системе находилось в пределах от 2k до 4k, а два года назад (в ноябре 2007 г.) – в пределах от 1k до 2k.

Неуклонно растет число систем со значительно большим числом ядер. Эту область мы условно определили, начиная с 16k на систему (рис. 5). Такие системы в момент появления демонстрируют новые подходы к построению суперкомпьютеров с рекордными характеристиками. За два года их число возросло с 6 до 32. Максимальное число ядер на систему теперь превышает 128k. В 34-м списке рейтинга *Top500* общее число таких систем достигло уже пяти. В конструкции рекордсмена по производительности, суперкомпьютера *Jaguar*, имеется 224 162 ядер, что составляет примерно 220k.

Для российского Топ50 этот показатель пока значительно скромнее (рис. 6). В 11-м списке, опубликованном в сентябре 2009 года, максимальное число систем (15) имеет более 1024 ядер. Максимальным числом ядер – 8k – может похвастаться система, созданная компанией *IBM* и установленная 2008 году на Факультете вычислительной математики и кибернетики МГУ им. М.В.Ломоносова. Даже новый рекордный супервычислитель “Ломоносов” (который еще не успел попасть в Топ50, но уже появился в *Top500*), имеет только 35 778 (примерно 35k) ядер. При этом он отстает по производительности от лидирующего суперкомпьютера *Jaguar* ровно в 5 раз, а по числу ядер – в 6.3 раза.

## Ведущие производители процессоров для суперкомпьютеров

Производителем процессоров для подавляющего большинства суперкомпьютеров является компания *Intel*. В июне и ноябре 2008 года, июне и ноябре 2009 года число систем на базе интеловских процессоров составило соответственно 375, 378, 399 и 402. На втором месте идет компания *IBM* – 68, 60, 55, 52 систем, а третье место занимает компания *AMD* – 55, 60, 43 и 42 системы соответственно.

Сравнение по показателю суммарной производительности для последних четырех списков также в пользу компании *Intel* – 5.9, 8.5, 11.7 и 15.4 *PFLOPS*. Для компании *IBM* этот показатель следующий – 3.9, 4.3, 5.9 и 6.0 *PFLOPS*, а для *AMD* – 1.9, 4.0, 4.7 и 6.2 *PFLOPS* соответственно. Как видно, в 34-м списке компании *AMD* здесь удалось немного опередить *IBM*.

Интеловские процессоры распределяются по трем семействам: *EM64T*, *IA-64* и *IA-32*. Все процессоры “Голубого гиганта” принадлежат к семейству *POWER*, а процессоры *AMD*, вечного конкурента *Intel* и партнера по соглашению об обмене технологиями для процессоров с архитектурой *x86*, – к семейству *AMD x86\_64*. Подробные данные за четыре года с момента, когда появились первые 2-ядерные процессоры с полным набором команд, представлены на рис. 7.

Число систем, построенных на базе процессоров с другими архитектурами (см. рис. 8), за это же время сократилось с 39 до 4. В текущем списке представлено всего две системы на базе архитектуры *SPARC*, разработанной компанией *Sun*, и всего одна система на базе архитектуры японской компании *NEC*. С дистанции сошли суперкомпьютеры, построенные на базе процессоров *Alpha* от компании *DEC* и *PA-RISC* от компании *HP*, а также на базе архитектур компаний *Hitachi* и *Cray*.

В Топ50 ведущими производителями процессоров, на базе которых построены суперкомпьютеры,

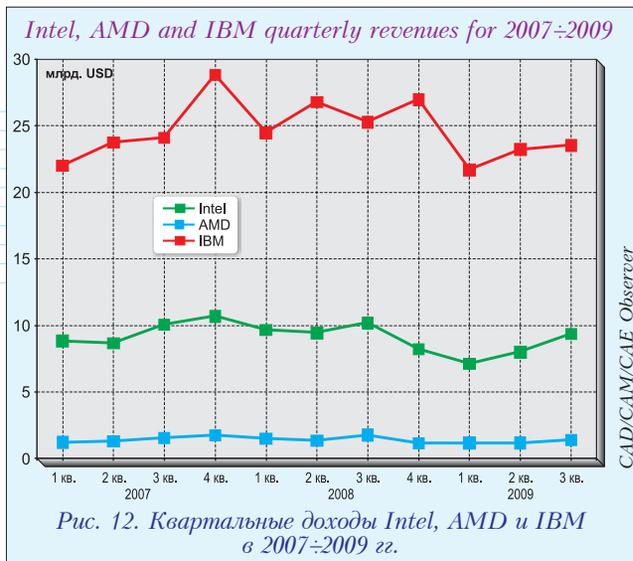


Рис. 12. Квартальные доходы Intel, AMD и IBM в 2007-2009 гг.

установленные на территории России, является та же тройка компаний, что и в мире – *Intel*, *AMD* и *IBM* (см. рис. 9). В 11-м списке (сентябрь 2009 г.) российского рейтинга Топ50 зафиксировано, что 37 систем сделано на базе интеловских процессоров, 7 – на базе процессоров от *AMD* и 5 – на базе айбиэмовских процессоров. Сохранялась также одна система на базе процессоров от *HP*.

## Финансовые показатели поставщиков суперкомпьютерных процессоров

Для двух из трех поставщиков суперкомпьютерных процессоров – *Intel* и *AMD* – разработка и производство процессоров являются основным бизнесом. Компании эти – многолетние конкуренты, но связаны между собой соглашением о взаимном лицензировании технологий, которые применяются для разработки и производства процессоров с архитектурой *x86* с полным набором команд.

Бизнес лидера процессорного рынка – компании *Intel* (биржевой индекс *INTC*, [www.intel.com](http://www.intel.com)) – идет успешно и прибыльно даже во время мирового экономического и финансового кризиса.

Бизнес менее успешного конкурента – компании *AMD* (биржевой индекс *AMD*, [www.amd.com](http://www.amd.com)) – последнее время переживает не лучшие времена. Поэтому было принято решение о её разделении. Одна часть компании (за ней сохраняется название *AMD*) будет продолжать заниматься разработкой процессоров. На базе второй части, занимавшейся производством, создана (с привлечением инвесторов) компания *GlobalFoundries*, которая будет производить кроме процессоров *AMD* также и микросхемы сторонних заказчиков.

Долголетняя конкуренция изобиловала многочисленными исками, которые *AMD* подавала в различные судебные инстанции на своего *Intel* касательно нарушений антимонопольного законодательства. В ноябре этого года конкуренты пошли на мировую – *Intel* выплатил *AMD* 1.25 млрд. долларов, *AMD* отозвала все иски, стороны заключили на пять лет договор о взаимном лицензировании технологий.

Структура годовых доходов, представленная в финансовых отчетах *Intel* и *AMD* (рис. 10), позволяет не только оценить вклад различных подразделений в

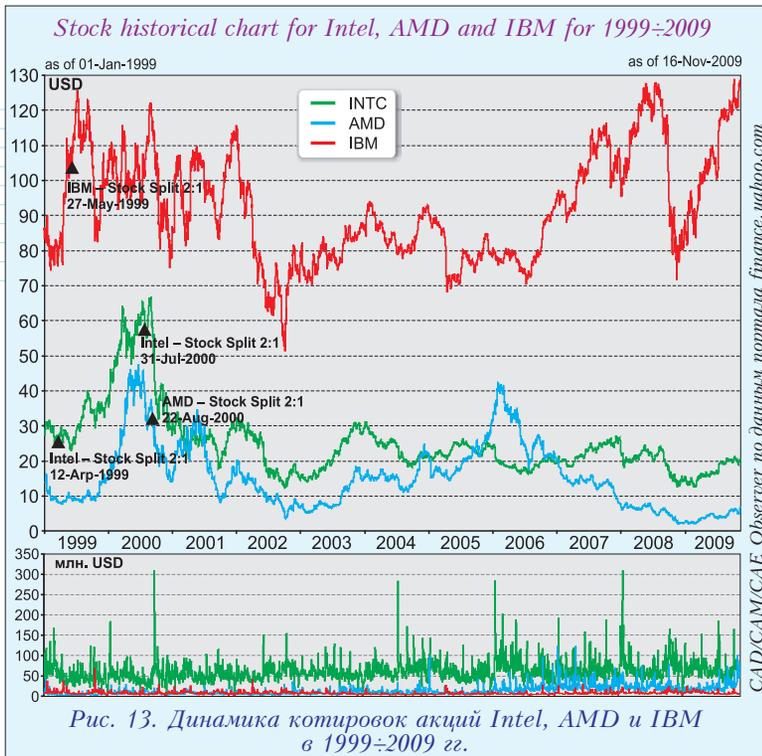


Рис. 13. Динамика котировок акций Intel, AMD и IBM в 1999-2009 гг.

общий результат, но и возможности для конкуренции на различных сегментах процессорного рынка. Кстати, в 2009 году структура отчетов у компаний, скорее всего, изменится, поскольку Intel объединил подразделения Digital Enterprise Group и Mobility Group, а у AMD идет трансформация после разделения компании.

Для компании IBM (биржевой индекс IBM, [www.ibm.com](http://www.ibm.com)) микропроцессорный бизнес (см. рис. 10) дает всего лишь порядка 2% годового оборота и, конечно же, не является основным (рис. 11). Однако возможностей подразделения *Microelectronics OEM* вполне достаточно, чтобы обеспечивать разработки инновационных архитектур для RISC-процессоров, иметь независимое от конкурентов производство процессоров для собственных серверов и суперкомпьютеров с экстремальными характеристиками, а также полигон для отработки прорывных технологий производства микропроцессоров и других микросхем.

Разница финансовых показателей всех трех компаний не мешает им уживаться на достаточно тесном суперкомпьютерном рынке и выигрывать контракты на поставку своих процессоров для самых разных заказчиков с различными источниками финансирования.

У каждой компании есть свои козыри: Intel выделяется универсальностью, широтой охвата и запасом прочности, AMD может предложить конкурентоспособную продукцию по более демократичным ценам, а IBM – прорывные инновации и RISC-архитектуру.

Далее в этом разделе приводятся графики (рис. 12, 13, 14), аналогичные тем, которые в предыдущих обзорах рынков CAE, EDA и HPC использовались для оценки динамики финансовых и биржевых показателей компаний в период разгара мирового экономического кризиса, а также в период оживления после рецессии. Мы предлагаем нашим читателям провести такой анализ самостоятельно, а при необходимости освежить в памяти соответствующие разделы ранее опубликованных рыночных обзоров.

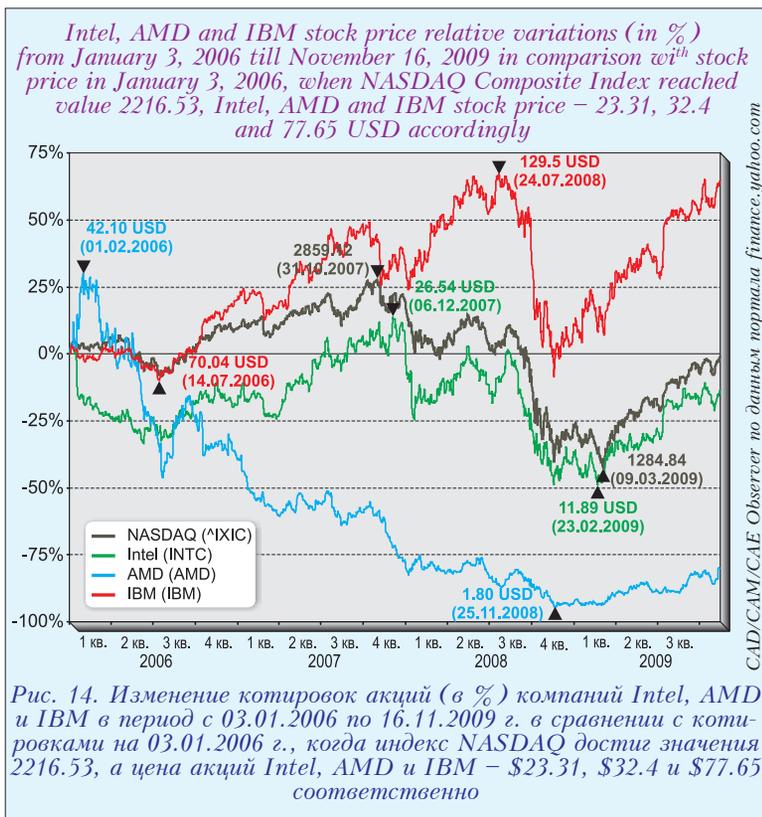


Рис. 14. Изменение котировок акций (в %) компаний Intel, AMD и IBM в период с 03.01.2006 по 16.11.2009 г. в сравнении с котировками на 03.01.2006 г., когда индекс NASDAQ достиг значения 2216.53, а цена акций Intel, AMD и IBM – \$23.31, \$32.4 и \$77.65 соответственно

### Новые изделия и технологии, ожидаемые на процессорном рынке

“Вычислительных мощностей мало не бывает” – именно так можно обозначить девиз любого специалиста в области моделирования и инженерного анализа. Поэтому кратко ознакомимся с планами производителей процессоров на ближайшее время, выполнение которых с некоторой временной задержкой обязательно окажет влияние на ключевые характеристики суперкомпьютеров и, в первую очередь, на производительность, которая напрямую зависит от числа процессорных ядер “первокирпичиков”.

✓ Как мы уже упоминали в начале обзора, в первой половине 2010 года компания Intel выпустит 8-ядерный процессор *Nehalem-EX* и оптимизированный для HPC 6-ядерный аналог. Каждое ядро одновременно обрабатывает два потока данных. Процессор *Nehalem-EX* сначала будет производиться в соответствии с технологической нормой 45 nm. Затем архитектура *Nehalem* будет перенесена на технологическую норму 32 nm.

Ясно, что на этом Intel не остановится, поскольку в перспективе рассматривается

Transistor counts & manufacturing processes for microprocessors for 1971÷2009.  
Development plans for 2010÷2022

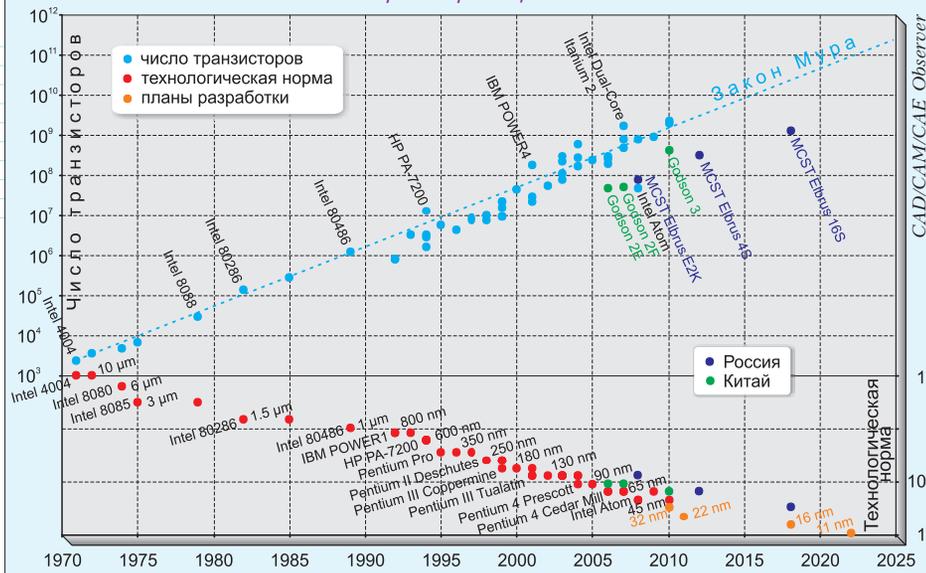


Рис. 15. Число транзисторов в микропроцессорах и технологическая норма производства в 1971÷2009 гг. Планы разработки в 2010÷2022 гг.

возможность интеграции на одном кристалле нескольких десятков, сотен или даже тысяч процессорных ядер. Эти идеи изложены в известной статье, опубликованной еще в 2005 году: “Платформа 2015: развитие процессоров и платформ Intel в ближайшие 10 лет”.

Немаловажно, что Intel не стремится во что бы то ни стало ошеломить общественность выпуском серийного процессора с экстремальным числом ядер, хотя пластина, на которой в одном кристалле объединены 80 ядер (так называемый Teraflops Research Chip или Polaris, заметим – с полным набором команд) была продемонстрирована еще два года назад, о чём мы писали в нашем обзоре (#52007). А в ноябре 2009 года был

Таблица 1. Число транзисторов в микропроцессорах и технологическая норма производства в 1971÷2009 гг. Планы разработки в 2010÷2022 гг.

Год	Технологическая норма	Процессор	Число транзисторов (млн.)	Год	Технологическая норма	Процессор	Число транзисторов (млн.)
1971	10 μm	Intel 4004	0.002	2002	130 nm	Intel Pentium 4 Northwood	55
1972	10 μm	Intel 8008	0.004	2003	130 nm	Intel Pentium M Banias	77
1974	6 μm	Intel 8080	0.005	2003	130 nm	AMD K8	106
1975	3 μm	Intel 8085	0.007	2003	130 nm	Intel Itanium	220
1979	3 μm	Intel 8088	0.029	2003	130 nm	HP PA-8800	300
1982	1.5 μm	Intel 80286	0.134	2003	130 nm	IBM POWER5	276
1985	1.5 μm	Intel 80386	0.275	2004	130 nm	Intel Itanium 2	592
1989	1 μm	Intel 80486	1.2	2008	130 nm	MCST Elbrus E2K	76
1992	800 nm	IBM POWER1	0.8	2004	90 nm	Intel Pentium 4 Prescott	169
1992	800 nm	Sun MicroSPARC I	0.8	2005	90 nm	Intel Pentium D Smithfield	230
1993	800 nm	Intel Pentium 66 MHz	3.1	2006	90 nm	Godson 2E	47
1994	600 nm	Intel 80486DX4	1.6	2006	90 nm	IBM/Sony/Toshiba Cell	250
1994	600 nm	IBM/Motorola PowerPC 601	2.8	2007	90 nm	Godson 2F	51
1994	600 nm	Intel Pentium 75MHz	3.2	2007	90 nm	Intel Dual-Core Itanium 2	1700
1994	600 nm	HP PA-7200	12.6	2006	65 nm	Intel Pentium 4 Cedar Mill	188
1995	350 nm	Intel Pentium Pro	5.5	2006	65 nm	Intel Core 2 Duo	291
1996	350 nm	AMD K5	4.3	2007	65 nm	AMD K10	463
1997	350 nm	Intel Pentium II	7.5	2007	65 nm	IBM POWER6 (dual-core)	789
1997	350 nm	AMD K6	8.8	2009	65 nm	AMD Six-Core Opteron 2400	904
1998	250 nm	Intel Pentium II Deschutes	7.5	2010	65 nm	Godson 3 (quad-core)	400
1998	250 nm	AMD K6-2	9.9	2010	65 nm	Intel Quad-Core Itanium Tukwila	2000
1999	250 nm	Intel Pentium III Katmai	9.5	2012	65 nm	MCST Elbrus 4S	320
1999	250 nm	DEC Alpha 21264A	15.2	2008	45 nm	Intel Atom	47
1999	250 nm	AMD K6-III	21.3	2008	45 nm	Intel Core i7 (Quad)	781
1999	250 nm	AMD K7	22.0	2010	45 nm	Intel 8-Core Xeon Nehalem-EX	2300
1999	180 nm	Intel Pentium III Coppermine	9.5	2010	32 nm	Планируемый срок	
2000	180 nm	Intel Pentium 4	42.0	2018	32 nm	MCST Elbrus 16S	1280
2001	180 nm	IBM POWER4	174.0	2011	22 nm	Планируемый срок	
2001	130 nm	Intel Pentium III Tualatin	28.1	2018	16 nm	Планируемый срок	
2001	130 nm	AMD Athlon MP	22.0	2022	11 nm	Планируемый срок	

выпущен еще один *x86*-совместимый исследовательский чип (48 ядер), ориентированный на применение в центрах обработки данных (*data center*) и для облачных вычислений (*cloud computing*).

Поскольку подход *Intel* характеризуется системностью и касается всех этапов технологического процесса разработки и производства универсальных процессоров, то значительное внимание в своем бизнесе компания уделяет и отработке технологии серийного выпуска процессоров. Методично, в соответствии с законом, открытым основателем компании Гордоном Муром, наращивается число “конструктивных элементов” (то есть транзисторов) в изделии. Это достигается, в том числе, и благодаря планомерному переходу на более прогрессивные технологии производства с методичным уменьшением технологической нормы. Основные вехи, отражающие историю вопроса, начиная с 1971 года, представлены на графике (рис. 15), построенном по данным, сведенным в табл. 1. Отметим, что подобный “комплексный взгляд”, объединяющий сразу две формы представления закона Мура, публикуется, по всей вероятности, впервые.

На наш взгляд, в области технологии дата приоритета должна исчисляться, по-видимому, с момента запуска технологии для серийного производства при условии получения надежных и воспроизводимых результатов с высоким уровнем выхода годной продукции.

✓ Компания *AMD*, отличившаяся серийным выпуском 6-ядерных процессоров, уже весьма успешно использованных при строительстве супервычислителей, в I квартале 2010 года планирует выпустить процессор *Opteron 6000* с 8 или 12 ядрами. Процессоры будут производиться в соответствии с технологической нормой 45 *nm*.

✓ Компания *IBM* представила новый процессор *POWER7*, который будет выпускаться в 4-, 6- и 8-ядерных вариантах в соответствии с технологической нормой 45 *nm*. Каждое ядро одновременно обрабатывает до четырех потоков данных. Первые системы на базе нового процессора должны появиться в начале 2010 года. Компания *IBM* планирует перевести производство на технологическую норму 32 *nm*.

✓ Компания *Sun* вместе со своим партнером, японской компанией *Fujitsu*, представила новые модели 4-ядерного процессора *SPARC64 VII*.

Хотя сейчас *Sun* находится в подвешенном состоянии, думается, что при любом раскладе работа по созданию 16-ядерного процессора нового поколения под кодовым названием *SPARC “Rock”*, первые образцы которого были продемонстрированы еще в начале 2007 года, будет успешно завершена.

Сейчас наиболее распространена технологическая норма 45 *nm*, но в повестке дня чипмейкеров уже значится перевод производства на 32 *nm*. Параллельно ведутся разработки технологии производства чипов в соответствии с технологическими нормами 22 и 11 *nm* (рис. 15), рассматриваются возможности осуществления еще более “тонких” процессов – вплоть до 4 *nm*.

Почивать на лаврах ведущим поставщикам процессоров для суперкомпьютеров не дают другие компании, которые работают на других сегментах рынка полупроводниковых приборов. Отметим, что составляющие лидерский тандем процессорного рынка компании *Intel* и

*AMD* в списке ведущих компаний, работающих в полупроводниковой промышленности, занимают по результатам III квартала 2009 года соответственно 1-е и 11-е места, а *IBM* по объемам поставок не попадает даже в двадцатку. Поэтому, на наш взгляд, стоит обратить внимание на следующие разработки, которые пока выполняются для других сегментов процессорного рынка, но при определенных условиях идеи, а то и их реализации в виде заточенных под нужды рынка продуктов вполне могут переключиться на рынок универсальных процессоров и составить конкуренцию мэтрам:

✓ Британская компания *ARM Holding*, специализирующаяся на разработке *RISC*-процессоров, выпустила самый маленький и энергоэкономичный многоядерный процессор *Cortex A5* с числом ядер до 4-х.

✓ Компания *Tilera Corporation*, базирующаяся в г. Сан-Хосе (штат Калифорния, США), анонсировала серию процессоров *TILE-Gx* с числом ядер 16, 36, 64 и 100. Процессоры должны появиться в конце 2010 – начале 2011 гг. Таким образом, компания стала первым в мире разработчиком 100-ядерного процессора.

✓ Крупнейшие японские компании *Canon*, *Hitachi*, *Fujitsu*, *NEC*, *Panasonic*, *Renesas Technology* и *Toshiba* объединили свои усилия для разработки микропроцессорной архитектуры для применения в потребительской электронике. Начать производство процессоров планируется в 2012 году.

На распространенность в будущем перечисленных процессоров может оказать существенное влияние архитектура процессоров, отличающаяся от распространенной *x86* архитектуры, а также позиция производителей программного обеспечения. Так, например, компания *Microsoft* объявила, что она не планирует поддержку процессоров *ARM* в системе *Windows 7*.

В заключение нашего обзора обратим внимание на амбициозные планы России и Китая, как независимых производителей суперкомпьютеров на базе процессоров собственного производства. Из открытых публикаций известно о планах выпуска собственного китайского процессора *Godson* с системой команд *x86*, а в России – о планах разработки собственного процессора на базе оригинальной архитектуры *Elbrus*. Эти данные проставлены на рис. 15 и в табл. 1.

К сожалению, когда начинаешь спокойно, непредвзято и конструктивно анализировать эти данные в сравнении с рекордными технологическими достижениями, не упуская из виду, что доля Россия в мировом рынке полупроводниковых изделий составляет всего 0.4% и, оценивая сроки, которые потребовались “Роснано” для принятия решения о финансировании создания производства интегральных схем по технологической норме 90 *nm*, на ум приходит цитата из известной книги Льюиса Кэрролла, вынесенная в эпиграф данной статьи.

Может быть, пора уже заканчивать с долгой процедурой запрягания лошади, и уже перейти, наконец, к быстрой езде?! И хорошо бы, чтобы побудительным мотивом к действию служил не *stimulus* в прямом значении этого слова, как у древних римлян, а экономический интерес по самостоятельному освоению практически бескрайнего российского рынка электронных изделий. Для начала. ☹