Системы высокопроизводительных вычислений в 2009–2010 годах: обзор достижений и анализ рынка

Часть II

Сергей Павлов, Dr. Phys.

Во второй части нашего обзора достижений рынка систем высокопроизводительных вычислений (**ВПВ**) или *High-Performance Computing* (***HPC***) будет рассмотрен обещанный в первой части (*#5/2010*) "процессорный срез" суперкомпьютерных рейтингов. Кроме того, будут представлены некоторые финансовые показатели разработчиков новейших образцов "первокирпичиков" современного здания информационных технологий. По традиции мы также остановимся на результатах очередного этапа гонки за *петафлопсами*, зафиксированных в ноябре 2010 года в 36-м списке мирового рейтинга суперкомпьютеров ***Top500*** (*www.top500.org*), сдобрив их упоминаниями о достижениях в сфере энергоэффективности суперкомпьютеров, зафиксированных в 8-м рейтинге ***Green500*** (*www.green500.org*). Данные 13-го российского списка (сентябрь 2010 г.) **Топ50** позволят читателям сравнить состояние отрасли "супервычислителестроения" в России с мировыми достижениями (*www.supercomputers.ru*).

Для начала перечислим наиболее значимые, с нашей точки зрения, мероприятия, на которых ведущие ньюсмейкеры процессорной и суперкомпьютерной отраслей обычно представляют свои перспективные разработки и новейшие продукты:

- ***ISC*** (*International Supercomputing Conference*) – ежегодная международная конференция, посвященная *HPC*-технологиям. Проводится в Гамбурге (Германия) с 1986 года. В июне 2010 г. прошла юбилейная, 25-я конференция (*www.supercomp.de*);
- ***SC*** (*SuperComputing*) – ежегодная международная конференция, проводится с 1988 года. В ноябре 2010 года в Новом Орлеане (штат Луизиана, США) состоялась 23-я конференция (*www.supercomputing.org*);
- ***Hot Chips*** – ежегодный симпозиум в Стэнфордском университете (штат Калифорния, США), посвященный высокопроизводительным микропроцессорам. В августе 2010 года проходил уже 22-й *Hot Chips* (*www.hotchips.org*);
- ***Cloud Computing Expo*** – международная конференция, посвященная технологиям облачных вычислений. Проводится в США и Европе с 2007 года. В этом году состоялась 7-я по счету конференция (*cloudcomputingexpo.com*);
- ***IDF*** (*Intel Developer Forum*) – ежегодный форум, посвященный технологиям микроэлектроники и тенденциям их развития. Проводится компанией *Intel* в августе–сентябре в гор. Сан-Франциско (штат Калифорния, США);
- ***Financial Analyst Day*** – ежегодный осенний форум, который проводит компания *AMD* в своей штаб-квартире в гор. *Sunnyvale* (штат Калифорния, США);
- ***GPU Technology Conference*** – ежегодная конференция, посвященная графическим процессорам, которая проводится компанией *NVIDIA*. В сентябре 2010 года мероприятие проходило в Сан-Хосе (штат Калифорния, США);
- ***ARM European Technical Conference*** – ежегодная международная конференция, организует которую компания *ARM Holding*. В октябре 2010 года в Париже (Франция) прошла юбилейная, 10-я конференция;

Amount of supercomputers, listed in Top500 (2008÷2010, 32nd÷36th lists), based on multicore processors

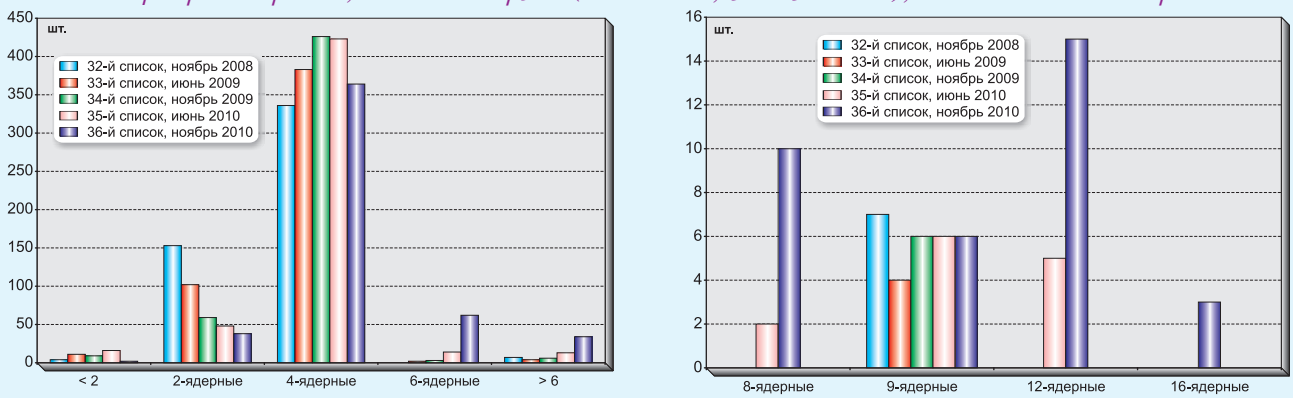


Рис. 1. Количество суперкомпьютеров в Top500 (2008÷2010 гг., списки 32÷36), созданных на базе многоядерных процессоров

CAD/CAM/CAE Observer по данным портала www.top500.org

• ***CeBIT*** – всемирная выставка цифровых информационных и телекоммуникационных технологий для дома и работы. Проходит в Ганновере (Германия) с 1986 года, обычно весной (*www.cebit.de*);

• ***CES*** – всемирная выставка потребительской электроники. Проводится в США с 1967 г., обычно в начале года (*www.cesweb.org*).

В рассматриваемом сегменте рынка информационных технологий нет недостатка в маркетинговой информации, многократно публикуемой на разных стадиях процесса разработки инновационных изделий. Несмотря на это изобилие, мы будем стараться разглядеть в калейдоскопе новостей лишь те события, которые можно рассматривать как важные шаги в развитии технологий. При этом наш интерес, как и прежде, направлен на достижения в области *CAE*-технологий, на расширение возможностей применения параллельных и распределенных вычислений, а также *HPC*-технологий и высокопроизводительных вычислительных систем на базе многоядерных процессоров, в такой сфере, как инженерный анализ при разработке машиностроительных изделий.

Новые изделия и технологии на процессорном рынке

Сначала остановимся на новых изделиях и технологиях, которые разработчики процессоров предложили рынку в 2010 году. Часть их уже нашла своё применение в системах, вошедших в текущий суперкомпьютерный рейтинг. Остальные еще ждут своего применения и в будущем непременно окажут влияние на ключевые характеристики супервычислителей, основная из которых – производительность – напрямую зависит от числа ядер в процессоре.

1 Достижения компании *Intel*

✓ В арсенале *Intel* появились 8-ядерный процессор и его 6-ядерный вариант, специально оптимизированный для применения в *HPC*-системах, о планах выпуска которых мы упоминали еще в прошлогоднем обзоре. В 36-й список *Top500* (рис. 1) вошло уже 56 систем, построенных из 6-ядерных "кирпичиков". По всей вероятности, распространению подобных процессоров способствует интеловская же технология**,** предоставляющая возможности автоматизированного распараллеливания кода, предназначенного для систем с многоядерными процессорами.

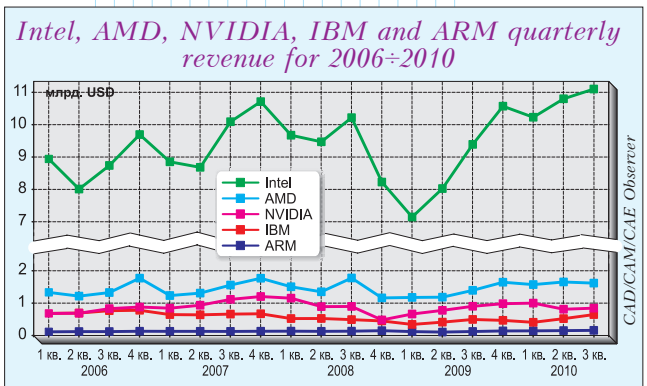


Рис. 2. Квартальные доходы Intel, AMD, NVIDIA,IBM и ARM в 2006÷2010 гг.

✓ Похоже, что новый процессор понравился не только производителям "крупных форм". Первой о выпуске ноутбука класса "заменяю собой персональный компьютер" с этим процессором объявила канадская компания *Eurocom*. Применять 6-ядерники будут также *Hewlett-Packard* (***HP***) и *Dell* – как в рабочих станциях, так и в ноутбуках. После перехода *Intel* на производство по технологической норме 32 *nm*, когда значительно уменьшится площадь кристалла, а значит и его энергопотребление, процессор станет еще более привлекательным.

✓ Компания *Intel* успешно освоила производство в соответствии с технологической нормой 32 *nm*. Появившиеся сообщения о прекращении выпуска процессоров по технологии 45 *nm* можно интерпретировать как стремление компании освободить рынок для более совершенных и экономичных "камней" собственного производства.

✓ После многократного переноса сроков наконец-то объявлено о выпуске 4-ядерного серверного процессора *Intel Itanium Tukwila* с рекордным числом транзисторов – 2.046 млрд. Впрочем, перспективы его распространения не видятся аналитикам радужными, поскольку пользователи стремятся использовать системы с процессорами, имеющими унифицированную архитектуру, и потому делают выбор в пользу вполне надежного 6-ядерного процессора *Intel*. К тому же, компания *Microsoft* объявила о прекращении поддержки в своих перспективных продуктах процессоров с архитектурой *IA-64*.

✓ Компания *Intel* ведет планомерную разработку процессоров с экстремально большим числом ядер. Еще одним её достижением стал выпуск 48-ядерного исследовательского чипа с полным набором команд *x86*. Процессор рассчитан на применение в системах для центров обработки данных (ЦОД) и предусматривает поддержку облачных вычислений. На ноябрьской суперкомпьютерной конференции представитель компании отметил, что разработанная архитектура позволяет разместить на одном кристалле 1000 ядер.

✓ Недавно *Intel* начала заключать контракты на изготовление процессоров со сторонними компаниями, занимающимися разработкой перспективных технологий. И хотя объемы подобных контрактов невелики, у *Intel* появляется возможность в случае успеха приобрести и освоить эти технологии с меньшими затратами.

2 Достижения компании *AMD*

✓ Компания *AMD* отличилась выпуском первых серийных процессоров с 8-ю и 12-ю ядрами, которые успешно применяются в

суперкомпьютерах (пользовался успехом и её первый 6-ядерный процессор). В текущий 36-й список *Top500* вошло соответственно 6 и 15 таких систем (рис. 1), две трети из которых построены компанией *Cray*.

✓ *AMD* смогла опередить *Intel* в выпуске серийных процессоров с 6-ю, 8-ю и 12-ю ядрами. Динамизм *AMD* обрела в результате подписания с конкурентом соглашения на пятилетний срок о взаимном лицензировании технологий для процессоров с архитектурой *x86*, а также благодаря выделению производства процессоров в самостоятельную компанию. Однако потеснить *Intel* по объему и номенклатуре выпускаемой продукции будет сложно – именно из-за сложностей в обеспечении необходимого объема поставок в условиях отсутствия собственного производства процессоров.

✓ Судя по недавнему анонсу нового поколения процессоров *APU* (*Accelerated Processing Unit*), появляются первые результаты от объединения возможностей собственно компании *AMD*, как разработчика центральных процессоров (*Central Processing Unit – CPU*), и приобретенной компании *ATI*, как разработчика графических процессоров (*Graphics Processing Unit – GPU*). Предполагается, что *CPU* и *GPU* не просто разместятся на одном кристалле, но и будет обеспечено их тесное взаимодействие в зависимости от необходимости в обработки того или иного вида информации.

На наш взгляд, подобные разработки, которые проводятся и в компании *Intel*, являются реакцией лидеров процессорного рынка на успех построенных с применением технологий *NVIDIA* графических ускорителей для вычислителей (в первую очередь – для суперкомпьютеров).

3 Достижения компании *IBM*

✓ На базе своего нового процессора *POWER7*, который выпускается в 4-, 6- и 8-ядерных вариантах, компания *IBM* разработала новые системы для корпоративного применения, общее число процессорных ядер в которых может достигать 256-ти. То есть, эти системы не рассчитаны на достижение рекордной производительности, и искать их в *Top500* бессмысленно. Однако, учитывая достаточно компактный форм-фактор, их вполне можно отнести к классу персональных суперкомпьютеров (ПСК).

✓ Наличие собственного мощного процессора *POWER7* позволяет *IBM* провести диверсификацию своего *HPC*-бизнеса. Сегодня *IBM* вместе с компанией *Cray* занимает лидирующие позиции в сегменте суперкомпьютеров с экстремальной производительностью, но в перспективе компания намерена конкурировать и в других сегментах рынка, где в настоящее время первую скрипку играют *HP* и *Dell*.

✓ Технические характеристики систем на базе новых процессоров в сравнении с аналогичными продуктами конкурентов, а также накопленные компанией *IBM* финансовые ресурсы, позволяют ей формулировать привлекательные для пользователей корпоративного рынка предложения с рассрочкой платежей на несколько лет. Выгодные условия предлагаются и в том случае, когда пользователи идут на замену имеющегося у них оборудования других поставщиков на системы от *IBM*. Компания уже несколько лет ведет мониторинг таких миграций и недавно обнародовала рекордные квартальные результаты – к *IBM* перешло несколько сотен клиентов от *HP* и *Sun*.

✓ На осенних конференциях по высокопроизводительным вычислениям компания *IBM* рассказала о разработках суперкомпьютера петафлопсового класса на базе 64 000 чипов *POWER7*. По всей видимости, овеществленные результаты этой работы можно будет наблюдать в следующем рейтинге *Top500* в июне 2011 года.

4 Достижения компании *NVIDIA*

✓ Разработанная компанией технология, основанная на программно-аппаратной архитектуре *CUDA* (*Compute Unified Device Architecture*), позволяет использовать графические процессоры для параллельных вычислений общего назначения. В последние годы технология *GPGPU* (*General-Purpose computing on Graphics Processing Units*) приобрела значительную популярность.

В настоящее время графические акселераторы вычислений начали применять ведущие производители компьютеров разного класса – как ПК, рабочих станций и ПСК, так и супервычислителей с экстремальной производительностью, занимающих высшие места в текущем рейтинге.

✓ Недавно *NVIDIA* опубликовала концептуальное описание своего нового процессора *Echelon* с числом ядер до 1024 и производительностью до 10 *TFLOPS*.

Напомним, что компания участвует в программе Министерства обороны США по разработке

Structure of Intel and AMD annual revenue; NVIDIA and ARM as well as IBM microelectronics annual revenue for 2007÷2009

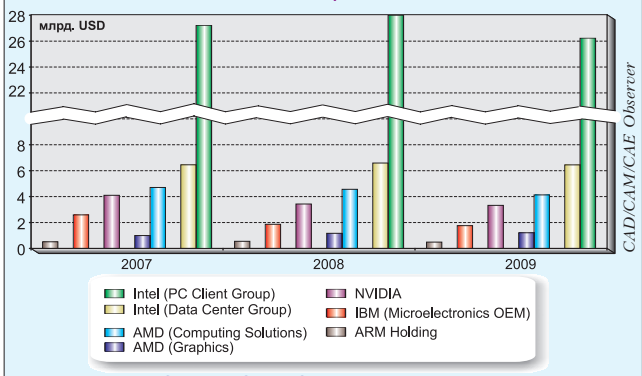


Рис. 3. Годовой доход компаний Intel, AMD, NVIDIA, ARM, а также IBM (только в сфере микроэлектроники) в 2007÷2009 гг.

перспективных суперкомпьютерных архитектур для достижения *экзафлопового* быстродействия. Еще одним участником этой программы является *Intel*.

5 Достижения компании *ARM Holding*

✓ Британская компания *ARM Holding* (*ARM*) специализируется на разработке *RISC*-процессоров и лицензирует разработанную ею архитектуру для многих ведущих предприятий мира. В настоящее время процессоры на базе *ARM*-архитектуры доминируют на рынке средств мобильной связи. Новейшим достижением компании являются энергоэкономичные многоядерные 32-битные процессоры *ARM Cortex A9* и *ARM Cortex A15*. Ведутся разработки 64-битного процессора.

Степень распространенности процессоров на базе *ARM*-архитектуры (отличающейся от общепринятой архитектуры *x86*) в других сегментах рынка информационных технологий во многом будет зависеть от позиции ведущих производителей оборудования и программного обеспечения. Так, например, до появления упомянутых разработок компания *Microsoft* заявляла, что не планирует поддерживать *ARM*-процессоры в системе *Windows 7*. Однако в середине 2010 года *Microsoft* свою позицию пересмотрела и приобрела лицензию на *ARM*-архитектуру. Таким образом, есть вероятность, что *ARM*-процессоры будут поддерживаться в перспективной системе *Windows 8*.

Скорее всего, на позицию *Microsoft* повлиял интерес к *ARM*-архитектуре ведущих производителей серверов (таких, как *IBM*, *HP* и *Dell*), а также тот факт, что компания *Apple* разработала на базе *ARM*-архитектуры процессор для своего бестселлера – планшета *iPad*.

✓ Чтобы потеснить компанию *ARM* на рынке планшетов и смартфонов, *Intel* ведет активные разработки энергосберегающего процессора, а со своим мобильным процессором *Atom* проводит эксперименты по созданию кластеров. Результаты таких разработок могут стать противовесом серверам, построенным на базе процессоров с *ARM*-архитектурой, на рынке корпоративных систем – там, где существенным фактором является энергоэффективность ЦОД.

6 Достижения компании *Oracle*

✓ Примерно через 9 месяцев (!) после официального завершения поглощения *Sun* компания *Oracle* объявила о выпуске "первого в отрасли" 16-ядерного процессора *Sparc T3*. Таким образом, "солнечные" разработки (которые, судя по всему, продолжались в период, когда *Sun* находилась в подвешенном состоянии в ожидании утверждения сделки Евросоюзом) можно считать успешно завершенными.

✓ Одновременно были представлены блейд-серверы на базе разработанного процессора. Не исключено, что в рейтинге *Top500* в июне следующего года могут появиться супервычислители, построенные с применением нового процессора и "лезвий". Отметим, что руководство *Oracle* не собирается делать акцент на корпоративных системах, подобно компаниям *HP* и *Dell*.

✓ Недавно руководитель *Oracle*, не скрывающий планов добиться для компании годового дохода порядка ста миллиардов, высказал мнение о необходимости приобретения производителя процессоров. В качестве кандидатов аналитики называют все упомянутые выше компании, кроме *Intel* (конечно, в случае *IBM* речь может идти только о соответствующем подразделении – *IBM Microelectronics OEM*).

Так что уже в ближайшее время выяснится, появится ли в финансовых отчетах *Oracle* помимо разделов "*software*" и "*hardware*" еще и "*semiconductors*"...

Финансовые показатели поставщиков процессоров

Анализ финансовых показателей перечисленных выше поставщиков процессоров мы предлагаем читателям провести самостоятельно с

Intel, AMD, NVIDIA, IBM and ARM annual revenue for 2006÷2009 (left) and market capitalization for 2009÷2010 (right)

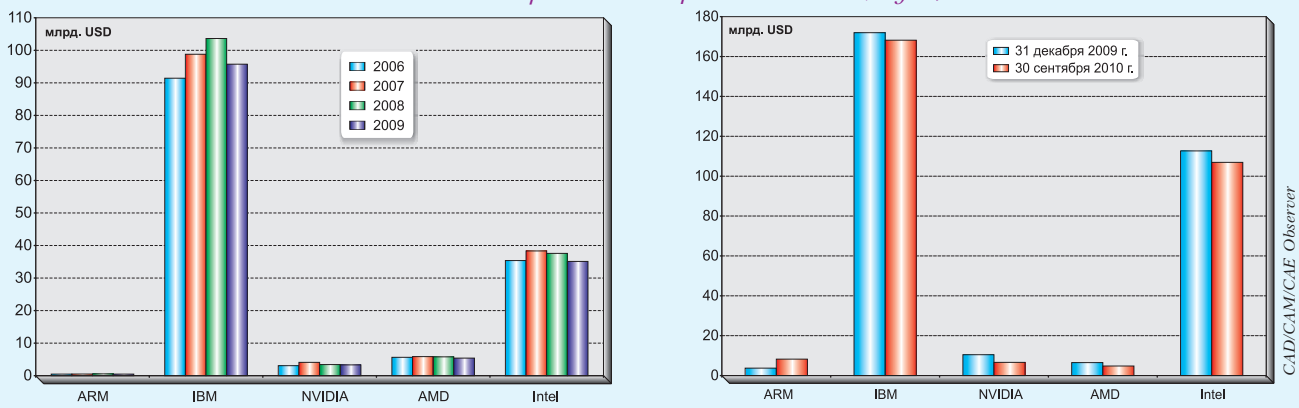


Рис. 4. Годовой доход в 2006÷2009 гг. (слева) и рыночная капитализация в 2009÷2010 гг. (справа) компаний Intel, AMD, NVIDIA, IBM и ARM

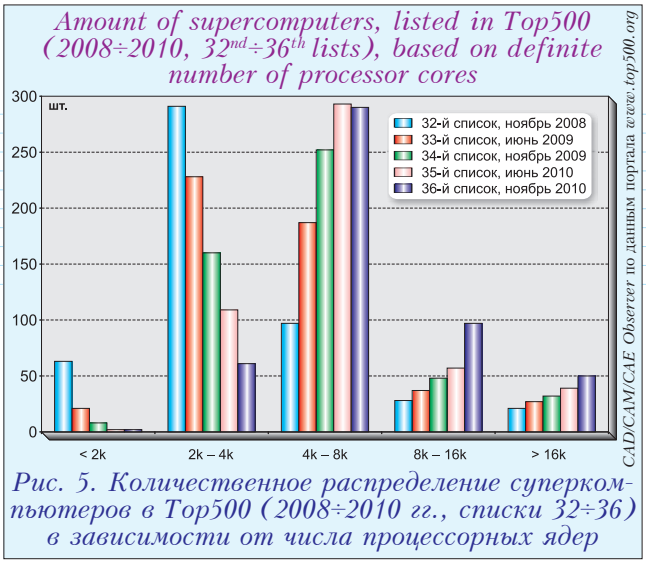


Рис. 5. Количественное распределение суперкомпьютеров в Top500 (2008÷2010 гг., списки 32÷36) в зависимости от числа процессорных ядер

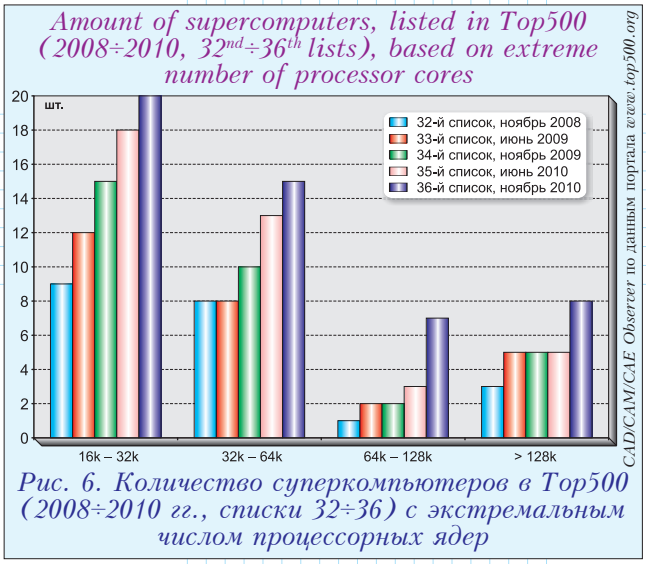


Рис. 6. Количество суперкомпьютеров в Top500 (2008÷2010 гг., списки 32÷36) с экстремальным числом процессорных ядер

использованием информации, представленной на наших графиках (рис. 2÷4). Сделаем только следующие замечания:

- в сравнении с прошлогодним обзором у компании *Intel* изменилась отчетность по структуре доходов (*Data Center Group* и *PC Client Group* вместо *Digital Enterprice Group* и *Mobility Group*);
- несмотря на то, что компании *NVIDIA* и *ARM Holding* не рассматриваются в качестве поставщиков процессоров для суперкомпьютеров и отсутствуют в рейтинге *Top500*, мы сочли необходимым начать мониторинг их продуктов и доходов.

Технологии *NVIDIA* уже нашли своё место в супервычислителях, а специализированные процессоры на базе архитектуры, разработанной компанией *ARM Holding*, уже в ближайшее время вполне могут появиться в энергоэффективных, высокопроизводительных вычислительных системах.

Как мы видим, специализированные процессоры продемонстрировали свою эффективность и как самостоятельные вычислительные единицы, и в сочетании с процессорами с полным набором команд. По всей видимости, дальнейшее развитие архитектуры процессоров будет учитывать этот экспериментально проверенный факт.

И еще. Как мы уже упоминали в прошлом обзоре, сейчас идет процесс переопределения областей применения всего спектра компьютеров на базе многоядерных процессоров. Цепочка устройств, в порядке убывания производительности, может быть такой: суперкомпьютер – персональный суперкомпьютер – сервер – облачный компьютер – рабочая станция – персональный компьютер – ноутбук – планшет – нетбук – смартфон (хотя здесь, наверное, перечислены далеко не все форм-факторы компьютеров, которые проходят сейчас испытание на устойчивый интерес у различных категорий пользователей). Это означает, что часть задач, которые ранее решались на более мощных и крупных, но менее доступных для пользователей вычислителях, перекочуют на более массовые: например, с рабочей станции – на планшет, нетбук или даже смартфон, а с суперкомпьютера – на ПСК или даже на ПК.

В следующем разделе будут приведены конкретные примеры, иллюстрирующие эту тенденцию.

HPC-технологии на службе инженерного анализа

Значительно повысить эффективность применения *CAE*-технологий в процессе разработки машиностроительных изделий позволит применение *HPC*-технологий – в тех случаях, когда они предлагаются в виде специально оптимизированных конечных продуктов, охватывающих и аппаратные средства, и системное программное обеспечение, и прикладные программы.

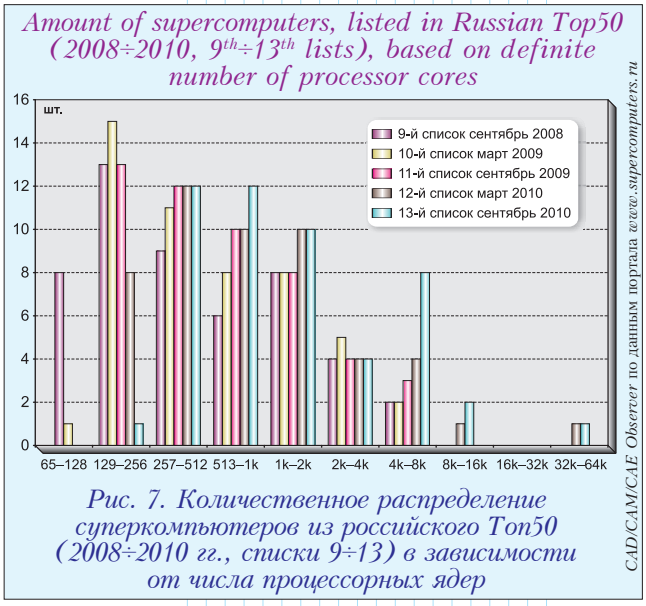
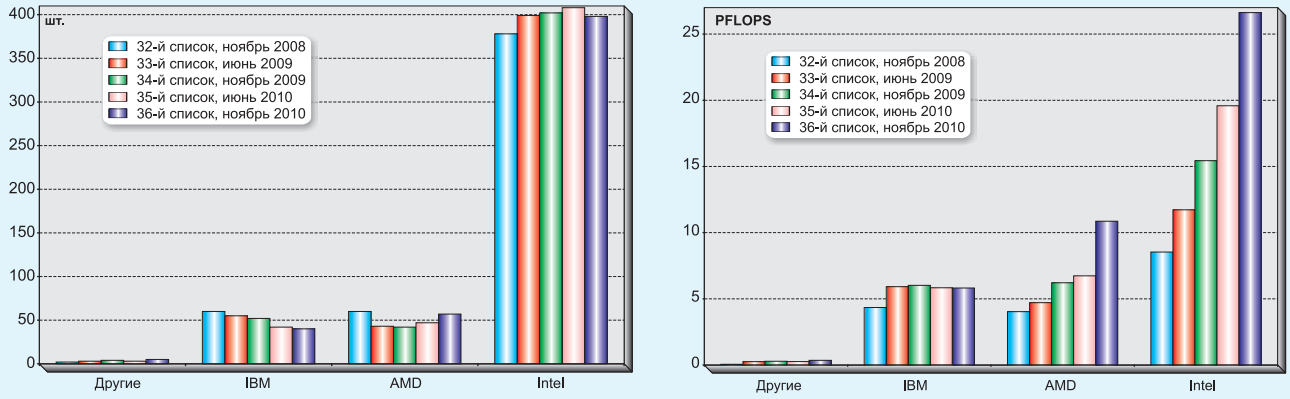


Рис. 7. Количественное распределение суперкомпьютеров из российского Top50 (2008÷2010 гг., списки 9÷13) в зависимости от числа процессорных ядер

Amount (left) and total performance (right) of supercomputers, listed in Top500 (2008÷2010, 32nd÷36th lists), grouped according to processor vendors



CAD/CAM/CAE Observer по данным портала www.top500.org

Рис. 8. Количество (слева) и суммарное быстродействие (справа) суперкомпьютеров в Top500 (2008÷2010 гг., списки 32÷36) в зависимости от производителя процессоров

В качестве примера можно привести следующие разработки:

✓ С участием компании *ANSYS* оптимизированы для работы с *CAE*-приложениями *Cray CX1-iWS*, так называемая "интегрированная рабочая станция" (*Integrated WorkStation – iWS*), а также кластер *Appro Ready-To-Go* компании *Appro International*. Кроме того, рабочая станция *HP Z800* сертифицирована для работы с пакетом *ANSYS HPC*.

✓ Компания *ANSYS* оптимизировала свой пакет *ANSYS HPC* под технологию *CUDA* и графические процессоры *NVIDIA Tesla GPU* для ускорения параллельных вычислений. Таким образом, значительно повышается эффективность применения компьютерных систем, усиленных графическими ускорителями вычислений.

Существенным является тот факт, что в случае использования для вычислений многоядерных графических процессоров достаточно иметь лишь *HPC*-лицензию – приобретать какие-либо дополнительные лицензии не требуется.

✓ Кластер *Hyperform HPC* компании *Silicon Mechanics*, сертифицированный в соответствии с программой *Intel Cluster Ready*, оптимизирован для работы приложениями *Abaqus FEA*, разработанными в подразделении *SIMULIA* компании *Dassault Systèmes*. Кластер *Hyperform HPC* разработан с использованием графических процессоров *NVIDIA Tesla GPU*.

✓ Компания *Microsoft* подготовила второй релиз своей операционной системы для поддержки параллельных (распределенных) вычислений – *Windows 2008 HPC R2*.

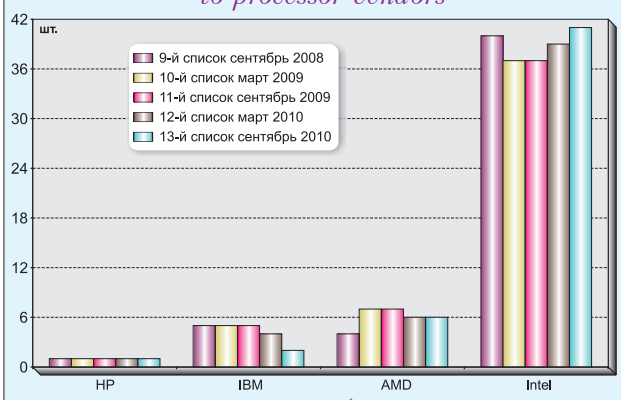
В соответствии со своей концепцией, *Microsoft* ориентируется на массового пользователя и потому рассчитывает на значительное расширение применения своей ОС в кругу специалистов – инженеров и ученых,– работа которых требует проведения больших объемов вычислений. Число таких пользователей, как полагают в *Microsoft*, оценивается величиной порядка 55 млн. Массовый пользователь-вычислитель привык работать в среде *Windows*, поэтому инженерам и ученым не составит труда освоить новую ОС для параллельных вычислений от того же поставщика.

Эта категория пользователей не ориентирована на применение системы *Linux*, распространенной среди специалистов по моделированию процессов. Их число составляет порядка 14 млн., и они потребляют практически весь объем доступных в настоящее время вычислительных ресурсов. Поэтому не удивительно, что система *Windows 2008 HPC* от *Microsoft* используется только на пяти суперкомпьютерах из списка *Top500*, в то время как на подавляющем большинстве (порядка 90%) установлена система *Linux*.

✓ Распределенные вычисления с использованием графических процессоров будут доступными на "облачном сервисе" *Amazon Web Services*.

✓ Расширяются возможности применения *CAE*-технологий в режиме облачных вычислений.

Amount of supercomputers, listed in Russian Top50 (2008÷2010, 9th÷13th lists), grouped according to processor vendors



CAD/CAM/CAE Observer по данным портала www.supercomputers.ru

Рис. 9. Российский Top50 (2008÷2010 гг., списки 9÷13): сравнение количества суперкомпьютеров на базе процессоров различных производителей

Implementation segments of supercomputers: amount (left) and total performance (right) of systems, listed in Top500 (2008÷2010, 32nd÷36th lists)

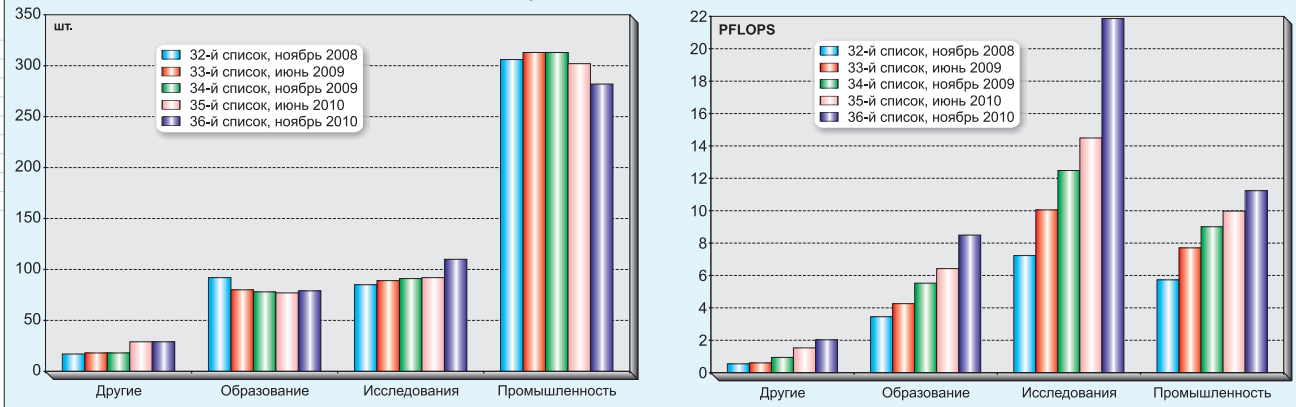


Рис. 10. Области применения суперкомпьютеров: количество (слева) и суммарное быстродействие (справа) систем, включенных в Top500 (2008÷2010 гг., списки 32÷36)

Подобные предложения разрабатываются компанией *Autodesk* для пакета *MoldFlow* и компанией *Altair Engineering* для пакета *PBS Works*.

✓ Компания *Autodesk* адаптировала свой популярный пакет *AutoCAD* для планшета *iPad*.

✓ Аспиранты Массачусетского технологического института (США) разработали приложения, позволяющие использовать смартфон в качестве терминала для суперкомпьютера.

Лидеры мирового рейтинга суперкомпьютеров *Top500*

Перейдем к анализу рекордных достижений на мировом рынках суперкомпьютеров, представленных в *Top500*. На представленных ниже диаграммах сопоставляются данные последних пяти списков (с 32-го по 36-й), то есть за два года.

✓ С июня 1993 года, когда начал публиковаться *Top500*, **впервые рейтинг возглавил китайский суперкомпьютер**. Лидером стал "*Tianhe-1A*", установленный в Национальном суперкомпьютерном центре (*National Supercomputing Center*) в гор. Тяньцзинь. Реальное быстродействие этой системы, зафиксированное тестами *LINPACK*, составляет **2.566 *PFLOPS***, а пиковый (расчетный) показатель – 4.701 *PFLOPS*. Год назад предшественник рекордсмена, вычислитель "*Tianhe-1*" (английское название – "*River in the Sky*", то есть "Млечный путь"), поднялся в 34-м списке на 5-е место с реальным и пиковым быстродействием 0.563 и 1.206 *PFLOPS* соответственно.

Сообщается, что "*Tianhe-1A*" является собственной китайской разработкой, и что проводил её Национальный университет оборонных технологий (*National University of Defense Technology – NUDT*). Система построена на 6-ядерных процессорах *Intel Xeon X5670* (*Westmere-EP*) с тактовой частотой 2.93 *GHz*, а в качестве акселераторов служат графические процессоры от *NVIDIA*.

В 8-м списке *Green500* (рейтинг энергоэффективных суперкомпьютеров) китайский рекордсмен занял только 11-е место.

✓ Производительности лидера предыдущих двух списков, суперкомпьютера ***Jaguar*** от компании *Cray* (**1.759 *PFLOPS***), оказалось достаточно только для 2-го места в текущем списке.

✓ На ступеньку ниже, то есть на 3-ю позицию, опустился ***Nebulae*** с быстродействием **1.271 *PFLOPS***, который полгода назад стал первым из китайских суперкомпьютеров, преодолевшим петафлопсовый барьер. Напомним, что эта система построена на 6-ядерных процессорах *Intel X5650* (*Westmere-EP*) и графических процессорах *NVIDIA Tesla C2050*.

✓ На 4-м месте оказалась система ***Tsubame 2.0*** с реальным быстродействием **1.192 *PFLOPS*** (пиковое – 2.288 *PFLOPS*), установленная в Токийском институте технологий (*Tokyo Institute of Technology*). **Это первый японский суперкомпьютер, преодолевший петафлопсовый барьер**.

Implementation segments of supercomputers, listed in Russian Top50 (2008÷2010, 9th÷13th lists)

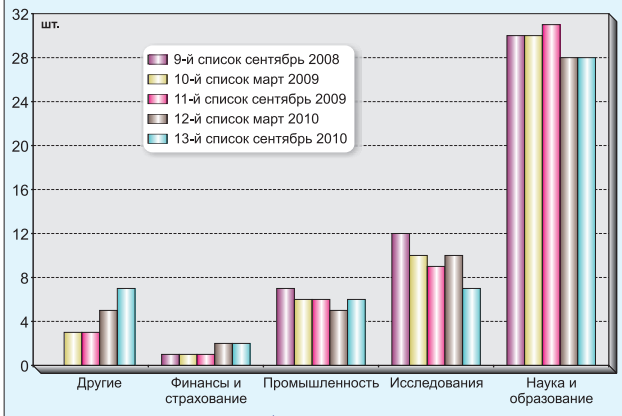


Рис. 11. Области применения суперкомпьютеров, включенных в российский Top50 (2008÷2010 гг., списки 9÷13)

Amount (left) and total performance (right) of supercomputers, listed in Top500 (2008÷2010, 32nd÷36th lists), in developed and emerging regions

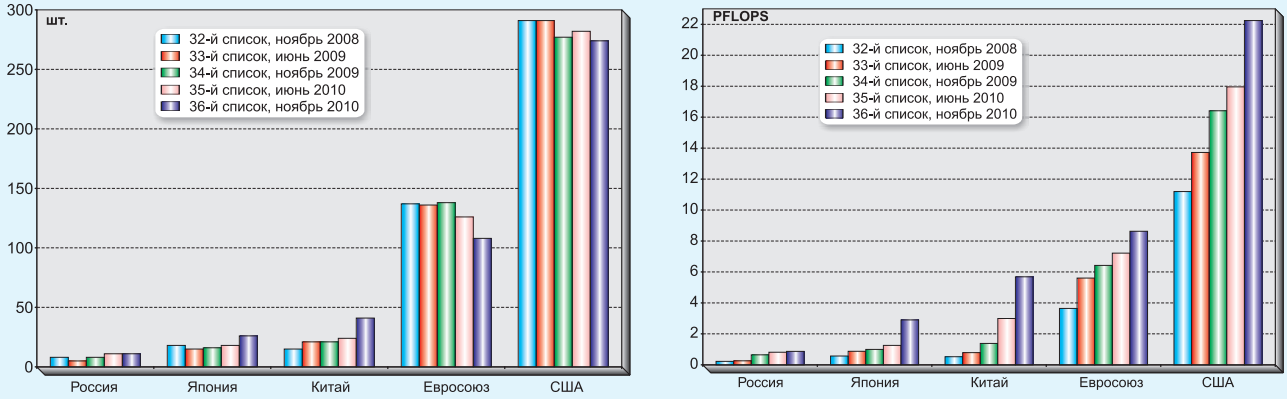


Рис. 12. Количество (слева) и суммарное быстродействие (справа) включенных в Top500 (списки 32÷36, 2008÷2010 гг.) суперкомпьютеров в развитых и развивающихся регионах мира

CAD/CAM/CAE Observer по данным портала *www.top500.org*

Он построен двумя компаниями – японской *NEC* и американской *HP* – на основе 6-ядерных процессоров *Intel Xeon X5670* (*Westmere-EP*) и графических процессоров *NVIDIA*.

Отметим, что *Tsubame 2.0* – единственный суперкомпьютер из первой десятки *Top500*, который вошел и в первую десятку *Green500*, заняв там высокое, 2-е место.

✓ Для мирового суперкомпьютерного символа, компании *Cray*, постройка петафлопсовых суперкомпьютеров, похоже, стала рутинным делом. За время, прошедшее с публикации прошлого рейтинга, на базе архитектуры *Cray XE6* с использованием 12-ядерных процессоров от *AMD* с частотой 2.1 *GHz* был построен суперкомпьютер с реальным быстродействием **1.05 *PFLOPS*** (пиковое – 1.287 *PFLOPS*), который и занял 5-ю ступеньку в текущем списке *Top500*. Система установлена в Национальном вычислительном центре энергетических исследований Министерства энергетики США (*National Energy Research Scientific Computing* (*NERSC*) *Center*) в Калифорнии.

✓ На 6-м месте, обосновался суперкомпьютер, построенный французской компанией *Bull*, который установлен в Комиссариате атомной и альтернативных источников энергии (*Commissariat à l'énergie atomique et aux energies alternatives*). **Это первый европейский суперкомпьютер, преодолевший петафлопсовый барьер.** Реальное быстродействие системы, созданной на базе 8-ядерных процессоров *Nehalem-EX* компании *Intel*, составляет **1.05 *PFLOPS***, пиковое – 1.376 *PFLOPS*.

✓ Первый в мире петафлопсовый суперкомпьютер *Roadrunner* (что переводится как калифорнийская бегающая кукушка) "добегался" до 7-го места. Напомним, что реальное быстродействие системы составляет **1.042 *PFLOPS***, пиковое – 1.376 *PFLOPS*.

Таким образом, к ноябрю 2010 года петафлопсовый барьер преодолели семь супервычислителей

Shares of amount (left) and total performance (right) of supercomputers, listed in Top500 (2010, 36th list), in developed and emerging regions

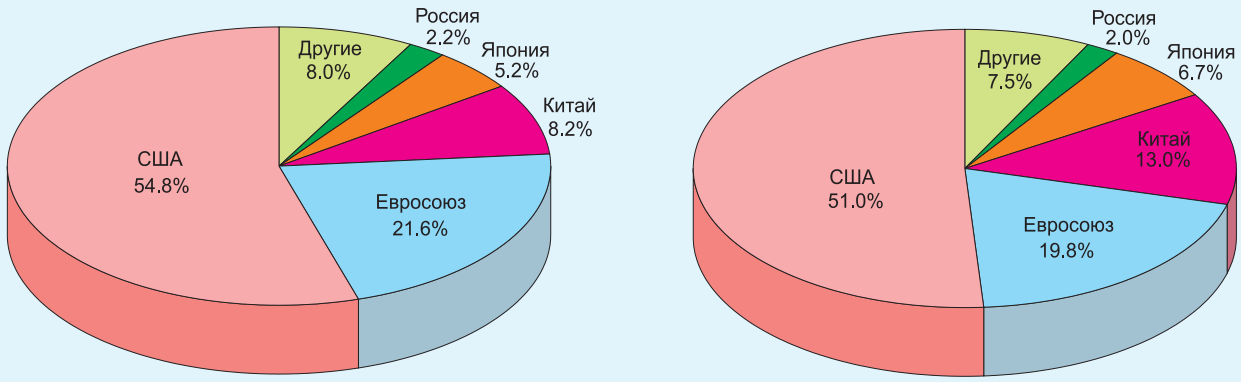


Рис. 13. Доля количества (слева) и суммарного быстродействия (справа) для включенных в Top500 (2010 г., список 36) суперкомпьютеров в развитых и развивающихся регионах мира

CAD/CAM/CAE Observer по данным портала *www.top500.org*

из четырех стран – США (3), Китая (2), Японии (1), Франции (1).

Число процессорных ядер в суперкомпьютерах

Статистика последних двух лет, отражающая количество систем из *Top500*, построенных на базе многоядерных процессоров, приведена на рис. 1. В текущем, 36-м списке наиболее популярными остаются 4-ядерные процессоры – на них основываются 364 системы. Пик своей популярности 4-ядерные процессоры прошли год назад, когда в 34-м списке оказалось 426 (то есть свыше 80%) систем, построенных на их базе. За полгода резко расширилось применение 6-ядерных процессоров – число использующих их систем возросло с 14 до 62. Применение 8- и 12-ядерных процессоров выросло в пять раз и в три раза – до 10-ти и 15-ти систем соответственно.

Уже три списка *Top500* подряд свидетельствуют, что наиболее популярное число ядер в одной системе лежит в пределах от 4*k* до 8*k*, где *k*=1024. В 36-м списке таких систем оказалось 290 (рис. 5). За прошедший год в два раза (до 97) выросло число суперкомпьютеров, у которых количество ядер находится в пределах от 8*k* до 16*k*.

Неуклонно растет число систем со значительно бóльшим числом ядер. Эту область мы условно выделяем с 16*k* (рис. 6). Такие системы в момент появления демонстрируют новые подходы к построению суперкомпьютеров с рекордными характеристиками. За два года их число возросло с 32 до 50. Общее количество систем, у которых число ядер превышает 128*k*, в 36-м списке рейтинга *Top500* достигло уже восьми. Рекордсменом в этой номинации является суперкомпьютер, установленный в *Forschungszentrum* в городе *Juelich* – 294 912 ядер, то есть 228*k*. А у нового рекордсмена производительности из Китая число процессорных ядер (без ускорителей на графических процессорах) составляет 186 368 или 182*k*.

Для российского Топ50 этот показатель пока значительно скромнее (рис. 7). В 13-м списке, опубликованном в сентябре 2010 года, более 2*k* процессорных ядер имеют всего 15 систем, а числом более 16*k* может похвастаться только лидер списка – супервычислитель "Ломоносов", который имеет 35 360 (примерно 35*k*) ядер.

Ведущие производители процессоров для суперкомпьютеров

Производителем процессоров для подавляющего большинства суперкомпьютеров, входящих в *Top500*, является компания *Intel* (рис. 8, слева). В ноябре 2009 года, июне и ноябре 2010 года число систем на базе интеловских процессоров составляло соответственно 402, 408 и 398.

На втором месте идет компания *AMD* – 42, 47 и 57 систем, а третье занимает *IBM* – 52, 42 и 40 систем соответственно.

Сравнение по показателю суммарной производительности систем, построенных на процессорах соответствующих вендоров, для последних трех списков также оказывается в пользу *Intel* – 15.4, 19.6 и 26.6 *PFLOPS* (рис. 8, справа). Для компании *AMD* цифры будут следующими – 6.2, 6.7 и 10.9 *PFLOPS*, а для *IBM* – 6.0, 5.8 и 5.8 *PFLOPS* соответственно.

Интеловские процессоры распределяются по трем семействам: *EM64T*, *IA-64* и *Core*. Все процессоры "Голубого гиганта" принадлежат к семейству *POWER*, а процессоры *AMD*, вечного конкурента *Intel*, – к семейству *AMD x86_64*.

На основе процессоров другой архитектуры построено всего пять систем. В текущем списке представлены две системы на базе процессоров с архитектурой *SPARC* (она разработана компанией *Sun*), и одна система, которая использует процессоры, разработанные японской компанией *NEC*.

Как свидетельствует российский рейтинг Топ50, ведущими производителями процессоров, на базе которых построены суперкомпьютеры, установленные на территории России, являются те же три компании – *Intel*, *AMD* и *IBM* (см. рис. 9). В 13-м списке (сентябрь 2010 г.) зафиксировано, что 41 система сделана на базе интеловских процессоров, шесть – на процессорах *AMD* и две – на базе микроприборов *IBM*. Сохранилась также одна система, базирующаяся на процессорах от *HP*.

Области применения систем ВПВ

Наибольшее количество суперкомпьютеров из *Top500* сегодня работает в промышленности: в 36-м списке таких 282. Для научных исследований применяются 110 систем, а в образовании – 79 (рис. 10, слева).

По суммарному быстродействию системы для науки идут впереди – 21.9 *PFLOPS*; на промышленность работает совокупная

Total performance of supercomputers, listed in Russian Top50 (2005÷2010, 3rd÷13th lists)

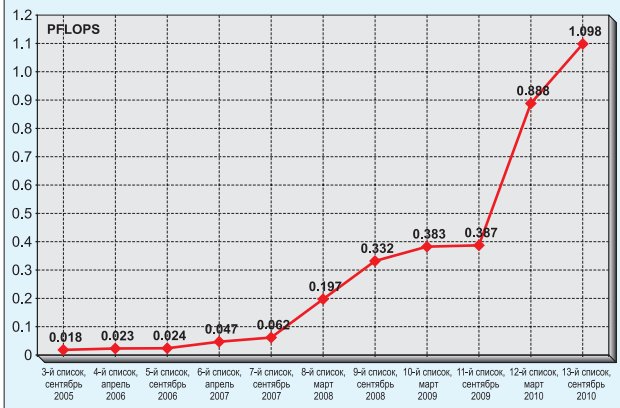


Рис. 14. Суммарное быстродействие суперкомпьютеров, включенных в российский Топ50 (списки 3÷13, 2005÷2010 гг.)

CAD/CAM/CAE Observer по данным портала www.supercomputers.ru

вычислительная мощь 11.2 *PFLOPS*, а на образование – 8.5 *PFLOPS* (рис. 10, справа).

В соответствии с российским Топ50, сегмент работающих на промышленность суперкомпьютеров в сентябре 2010 г. состоял всего из шести систем (рис. 11), а в сфере научных исследований работало семь. Более половины супервычислителей – 28 систем – трудится в сфере российского высшего образования.

Региональный срез рейтинга *Top500*

Региональный табель о рангах, представленный на рис. 12, 13, включает США, Евросоюз, Китай, Японию и Россию.

✓ США

По данным на ноябрь 2010 года, США приютили больше половины (54.8%) систем, набравших проходной балл в *Top500* – 274 суперкомпьютера. Цифры годичной давности – 277 систем (55.4%).

Суммарное быстродействие 274-х систем, инсталлированных в США на ноябрь 2010 года, достигло 22.241 *PFLOPS* (51% от общего значения для всех супервычислителей из списка *Top500*). Год назад этот параметр составлял 16.416 *PFLOPS* (58.7% от общего).

✓ Евросоюз

В странах ЕС инсталлировано 108 систем (21.6%) из списка *Top500*. Цифры годичной давности – 138 систем (27.6%).

Суммарное быстродействие этих 108 систем достигло 8.627 *PFLOPS* (19.8% от общего значения для *Top500*). Год назад, в ноябре 2009 года, этот параметр составлял 6.424 *PFLOPS* (23% от общего).

Три первых места в ЕС стабильно занимают Франция (26 систем), Германия (26 систем) и Великобритания (25 систем). На долю этих трех стран приходится 71.3% суперкомпьютеров из *Top500* на территории ЕС и 82.8% их суммарного быстродействия.

✓ Китай

По данным 36-го списка, Китай сейчас располагает 41 суперкомпьютером уровня *Top500*, так что 8.2% систем в списке имеет китайское происхождение. Полгода назад, в июне 2010 года, их было намного меньше – 4.8% (24 системы).

Суммарное быстродействие топовых китайских систем достигло 5.689 *PFLOPS*, и доля КНР впервые стала двухзначной – 13% от общего значения для *Top500*. За два прошедших года суммарное быстродействие выросло почти в 11 раз: в ноябре 2010 года этот показатель составлял 0.521 *PFLOPS* (3.1% от общего значения).

✓ Япония

В ноябре 2010 года 26 работающих на территории Японии систем из списка *Top500* продемонстрировали четвертую по величине суммарную производительность: 2.904 *PFLOPS* (или 6.7% от общей).

Amount (above) and total performance (below) of supercomputers, listed in Top500 (2008÷2010, 32nd÷36th lists), grouped according to systems vendors

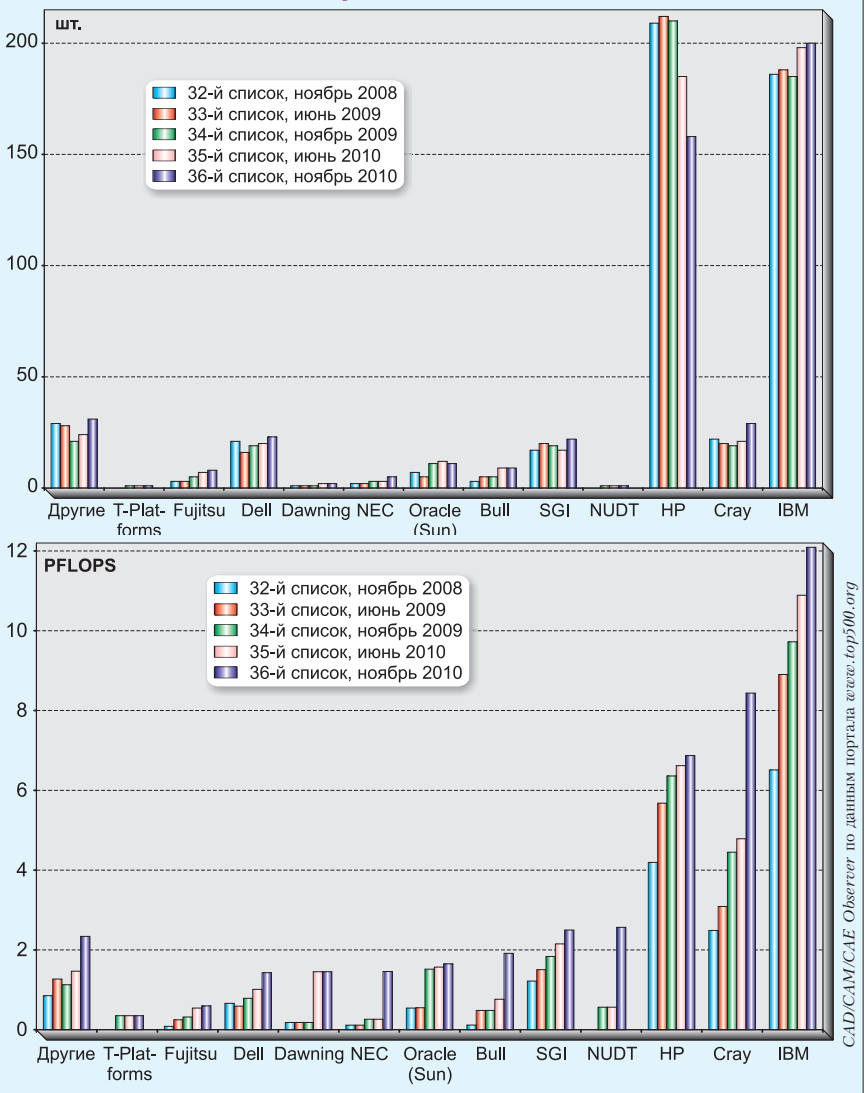


Рис. 15. Количество (сверху) и суммарное быстродействие (снизу) суперкомпьютеров в Top500 (2008÷2010 гг., списки 32÷36), созданных различными производителями

Полгода назад в Стране восходящего солнца функционировало 18 систем уровня *Top500*, обеспечивая суммарную производительность 1.253 *PFLOPS* (3.9% от общей).

✓ **Россия**

В 36-м списке рейтинга *Top500* Россия представлена 11-ю системами (2.2% от общего числа). Суммарное их быстродействие составляет 868 *TFLOPS* (2% от общего). Таким образом, Россия – единственная страна в нашем региональном рейтинге, где **суммарная производительность включенных в рейтинг *Top500* систем еще не достигла петафлопсового рубежа.**

Сразу же отметим, что суммарная производительность суперкомпьютеров, включенных в российский Топ50, в сентябре 2010 года впервые превысила петафлопсовый рубеж с показателем **1.253 *PFLOPS*** (рис. 14).

По состоянию на ноябрь 2010 года, российский лидер ВПВ, суперкомпьютер "Ломоносов", занимает 17-е место в мире, более чем в семь раз уступая по быстродействию лидеру – "Млечному пути".

Ведущие производители суперкомпьютеров

Показатели ведущих производителей суперкомпьютеров в рейтинге *Top500* представлены на рис. 15. Все компании отранжированы в соответствии с суммарной производительностью систем, набравших проходной балл в *Top500*. Круг рассматриваемых компаний в настоящем обзоре расширен и включает следующие три группы:

- производители суперкомпьютеров, входящих в первую десятку *Top500* – *NUDT*, *Cray*, *Dawning*, *NEC*, *Bull*, *IBM*;
- лидеры мирового рынка *HPC*-систем – *IBM*, *HP*, *Dell*, *Oracle* (*Sun*), *Fujitsu*;
- лидеры региональных рынков *HPC*-систем – *IBM*, *Bull*, *NUDT*, *Dawning*, *Fujitsu*, *NEC*, "Т-Платформы".

По количеству установленных суперкомпьютеров лидером двух последних списков (июнь и ноябрь 2010 г.) является корпорация *IBM*, построившая 198 и 200 систем из пятисот соответственно. Показатели *HP* немного скромнее – 185 и 158 систем (рис. 15, сверху).

На порядок меньшим числом инсталлированных систем могут похвастаться компании *Cray*, *Dell*, *SGI* и *Oracle* (*Sun*) – в ноябре 2010 года их было 29, 23, 22 и 11 соответственно.

У остальных компаний число инсталляций не достигает 10, и лидирует среди них *Bull* – 9 систем.

В аспекте суммарного быстродействия всех установленных систем бесспорным лидером *Top500* является *IBM* (рис. 15, снизу). В июне и ноябре 2010 года этот важнейший показатель имел значения 10.9 и 12.1 *PFLOPS* соответственно. Для суперкомпьютеров *HP* он был равен 6.6 и 6.9 *PFLOPS* соответственно.

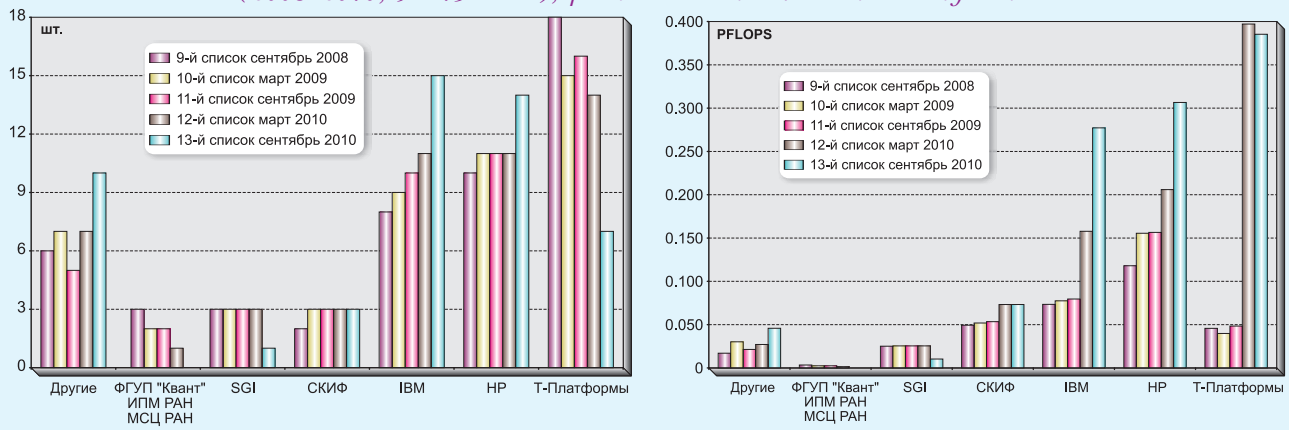
Вторую позицию по суммарной производительности на ноябрь 2010 года занимают системы от *Cray* – 8.4 *PFLOPS*.

Производительность систем *SGI*, *Oracle* (*Sun*) и *Dell*, уже год или полтора назад перевалившая через петафлопсовый рубеж, в ноябре 2010 года достигла показателей 2.5, 1.7 и 1.4 *PFLOPS* соответственно.

В ноябре 2010 года впервые превысила петафлопс суммарная производительность систем *NUDT* и компаний *Bull* и *NEC* – 2.566, 1.914 и 1.458 *PFLOPS* соответственно.

В российском списке Топ50 (рис. 16) первую позицию по суммарной производительности систем занимает компания **"Т-Платформы"** (385 *TFLOPS* для 7 систем), опережая *HP* (307 *TFLOPS* для 14 систем) и *IBM* (277 *TFLOPS* для 15 систем).

Amount (left) and total performance (right) of supercomputers, listed in Russian Top50 (2008÷2010, 9th÷13th lists), from world and Russian leading vendors



CAD/CAM/CAE Observer по данным портала *www.supercomputers.ru*

Рис. 16. Количество (слева) и суммарное быстродействие (справа) суперкомпьютеров из списка, включенных в российский Топ50 (2008÷2010 гг., списки 9÷13), от ведущих мировых и российских производителей

Эта компания является лидером российского рынка. Недавно она выиграла крупные контракты на модернизацию ранее построенных ею же супервычислителей. Особого внимания заслуживает контракт, предусматривающий достройку лидера Топ 50, суперкомпьютера "Ломоносов", с целью достижения суммарной производительности 1.3 *PFLOPS* (идет ли речь о реальном или пиковом быстродействии – не сообщается).

Модернизация суперкомпьютера "Ломоносов" проводится компанией "Т-Платформы" на основе собственных разработок – речь идет о новейшей гибридной блейд-системе *TB2-TL* с графическими процессорами *NVIDIA Tesla X2070*. Всего будет добавлено восемь стандартных шкафов, каждый из которых обеспечит дополнительное пиковое быстродействие 100 *TFLOPS*.

Поскольку блейд-системы компании "Т-Платформы" имеют высокую эффективность, а их реальное быстродействие не намного ниже пикового, можно с большой вероятностью утверждать, что к концу II кв. 2011 года (а значит к моменту выхода следующего, 37-го списка *Top500*), в России появится суперкомпьютер с реальным быстродействием выше 1 *PFLOPS*.

Поскольку компания уже контролирует значительный сегмент российского рынка суперкомпьютеров, её руководство приняло решение расширить присутствие на зарубежных рынках (их суммарный объем превышает объем российского рынка на один-два порядка). С этой целью компания открыла зарубежные офисы, а также увеличила свой капитал за счет привлечения средств "Внешэкономбанка", который стал её совладельцем.

Учитывая наличие разработок петафлопсового класса, а также стремление внести свой вклад в достижение *экзафлопсового* рубежа производительности (в том числе, в сотрудничестве со специалистами МГУ им. М.В.Ломоносова), амбициозная задача стать компанией мирового уровня вполне может быть решена.

Мы же, со своей стороны, зафиксируем стартовую позицию компании "Т-Платформы" в мировом *Top500*, в окружении будущих конкурентов, как это выглядит по состоянию на ноябрь 2010 года (рис. 15).

Об авторе:
Павлов Сергей Иванович – *Dr. Phys.*, редактор аналитического *PLM*-журнала *CAD/CAM/CAE Observer* (sergey@cadcamcae.lv), научный сотрудник Лаборатории математического моделирования окружающей среды и технологических процессов Латвийского университета (Sergejs.Pavlovs@lu.lv)

◆ Выставки ◆ Форумы ◆ Конференции ◆ Семинары ◆