

Системы высокопроизводительных вычислений в 2010–2011 годах: обзор достижений и анализ рынка

Часть II

Сергей Павлов, Dr. Phys.

На сей раз вторую часть обзора достижений рынка систем высокопроизводительных вычислений (ВПВ), или *High-Performance Computing (HPC)* мы выпускаем не “с пылу, с жару”, а через два месяца после обнародования 38-го ноябрьского списка мирового рейтинга суперкомпьютеров **Top500** (www.top500.org). Что удивительно, первая десятка позиций в нём осталась ровно такой же, как и в предыдущем, 37-м списке (июнь 2011 г.), без перестановок и добавлений. Такая ситуация, по всей видимости, возникает впервые с начала публикации рейтинга. Мы решили взять двухмесячную паузу, чтобы взглянуть на события 2011 года отстраненным взглядом и, спокойно проанализировав ситуацию, выбрать вехи и прорывные технологии среди большого числа достижений в области HPC (параметры которых на временной шкале привычно укладываются на прямую в логарифмическом масштабе, что само по себе свидетельствует об экспоненциальном – то есть бурном, если не взрывном – росте).

Впрочем, как оказалось, никаких откровений в сравнении с интуитивным выбором на основе первого впечатления пауза не принесла. Разве что самый конец года подарил еще несколько интересных сообщений ведущих производителей суперкомпьютеров и процессоров для них. Ну а фундаментальный вопрос в стиле “Вильяма

нашего Шекспира” – *Is this technology breakthrough or not breakthrough?* – остается открытым до момента внедрения этой технологии и оценки получаемых с её помощью результатов в сравнении с другими.

Итак, вторую часть обзора мы начнем с перечисления рекордных достижений на мировом рынке HPC, которыми запомнился 2011 год.

Вехи в развитии суперкомпьютерных технологий

✓ Впервые преодолен рубеж 10 PFLOPS

Ноябрьский 38-й список 2011 года зафиксировал, что лидер предыдущей редакции рейтинга **Top500**, японский суперкомпьютер “**K computer**”, первым в мире преодолел рубеж в 10 квадриллионов операций с плавающей точкой в секунду (чем оправдал свое название, происходящее от японского слова “кэй”, как раз и означающего 10^{16}). В процессе 29-часовых расчетов на тестовых задачах **LINPACK** было продемонстрирована производительность **10.5 PFLOPS**, что составляет 93% от пикового значения – 11.28 PFLOPS.

Таким образом, за полгода японской компанией **Fujitsu** была выполнена еще четверть необходимого объема работ. Теперь в машинном зале Института физико-химических исследований

ASCI Supercomputer Red (a) and multi-core chip Knights Corner (b), the first in the world have been breaking 1 TFLOPS barrier in 1997 and 2011 accordingly



Рис. 1. Суперкомпьютер ASCI Red (a) и многоядерный чип Knights Corner (b), впервые в мире преодолевшие рубеж 1 TFLOPS в 1997 и 2011 годах соответственно

(RIKEN) в городе Кобе (Япония) установлены уже 864 вычислительные стойки с водоохлаждаемыми системными платами для 88 128-ми восьмиядерных процессоров SPARC64 VIIIfx. Процессор производится дочерней компанией Fujitsu Semiconductor Ltd. в соответствии с технологической нормой 45 nm.

Отметим, что в ноябрьском, 9-м по счету, списке рейтинга **Green500** (www.green500.org), отражающего энергоэффективность суперкомпьютеров, беспорный лидер Top500 занял всего лишь 32-е место.

Иллюстрации, на которых “изувековечен” виновник торжества, приведены в первой части обзора, а также на обложке того номера (см. *Observer* #5/2011).

✓ Впервые быстродействие одного чипа превысило 1 TFLOPS

В ноябре 2011 года на конференции SC'11 (SuperComputing) в Сиэтле компания Intel продемонстрировала экспериментальный образец многоядерного чипа **Knights Corner**, созданного на базе Intel MIC (Many Integrated Core). Архитектура Intel MIC, представленная в середине июня 2011 года (об этом событии мы писали в первой части обзора), интегрировала результаты разработок многоядерных архитектур в соответствии с проектами Larrabee, Teraflops Research Chip и Single-chip Cloud Computer.

Теперь чип, содержащий более 50-ти ядер и при этом уместающийся на ладони (рис. 1б), сможет обеспечивать производительность свыше 1 TFLOPS – такую же, как рекордсмен 1997 года, суперкомпьютер “ASCI Red”, первым в мире преодолевший терафлопсовый рубеж; правда, места он занимал немного больше – для его размещения в то время потребовался машинный зал площадью 149 м² (рис. 1а).

✓ Построен первый китайский суперкомпьютер петафлопсового класса на базе собственных процессоров

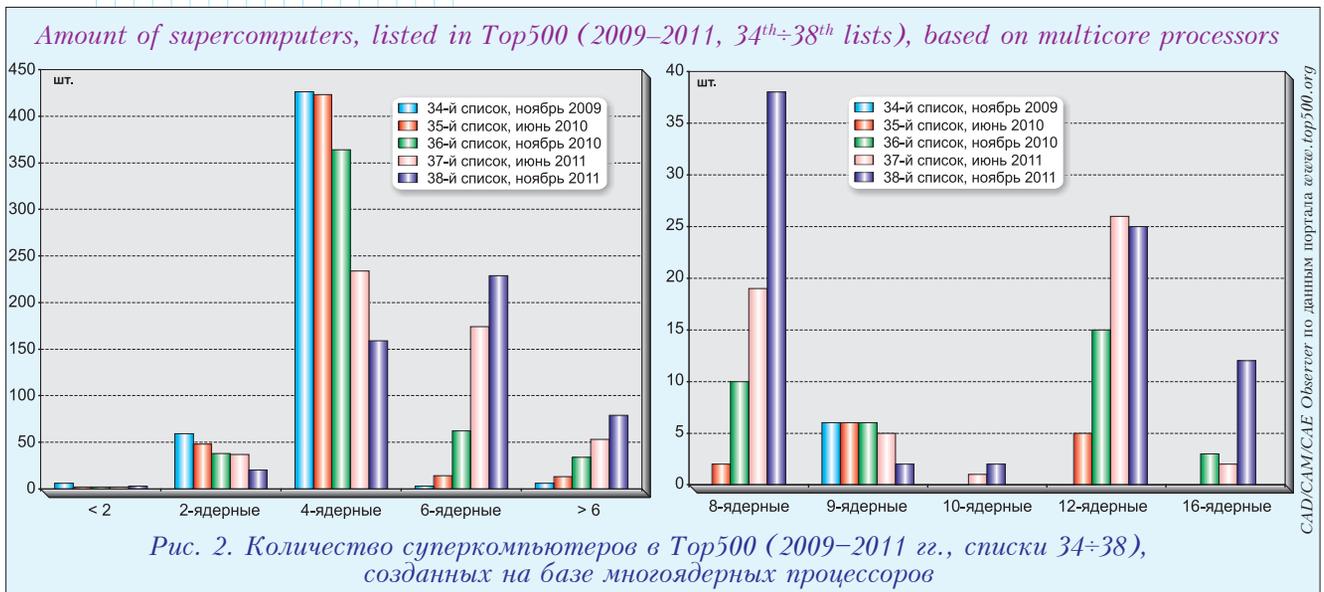
Китай стал третьей после США и Японии страной, обладающей суперкомпьютером петафлопсового класса собственной разработки, построенным при этом на собственной элементной базе.

Первый такой китайский суперкомпьютер под названием “**Sunway BlueLight**” имеет реальное быстродействие 0.796 PFLOPS, а пиковое – 1.07 PFLOPS. В 38-м списке рейтинга Top500 он занял 14-е место, а в ноябрьском списке рейтинга Green500 – 39-е место.

Супервычислитель разработан в National Research Center of Parallel Computer Engineering & Technology (NRCPCET) в Пекине и установлен в Национальном суперкомпьютерном центре (National Supercomputing Jinan Center) в городе Цзинань. В конструкции вычислителя использовано 8704 шестнадцатиядерных процессора **ShenWei SW1600**. Процессор разработан в Китае в рамках совместного проекта компаний Jiangnan Computing Research Lab и High Performance Server & Storage Technologies. Производится он в соответствии с технологической нормой 65 nm китайской компанией Semiconductor Manufacturing International Corporation, базирующейся в Шанхае.

Отметим, что объявленное в мае 2011 года строительство суперкомпьютера “**Dawning 6000**” на базе восьмиядерных процессоров Godson 3B собственной разработки, о котором мы писали в первой части обзора, по всей видимости, пока еще не завершено.

Надо сказать, что создание такой системы, как суперкомпьютер требует не одного месяца напряженной работы. В этой связи участники мирового рынка HPC, как правило, заранее сообщают о своих планах и анонсируют будущие результаты. Ниже будут описаны наиболее



интересные с нашей точки зрения проекты, которые будут осуществляться в 2012 году. В некоторых уже запланированы рекордные достижения, которых ожидает мировой рынок; есть и такие проекты, до завершения которых пройдет еще не один год.

Что год грядущий нам готовит

✓ Японский суперкомпьютер, масштабируемый до 23.2 PFLOPS

В течение трех лет, начиная с января 2012 года, японская компания *Fujitsu* рассчитывает продать порядка 50-ти суперкомпьютеров типа **PRIMEPC FX10**. В зависимости от пожеланий заказчика этот суперкомпьютер (в его основу легли технологии нынешнего лидера – “*K computer*”) может обеспечивать пиковую производительность в пределах от 90.8 TFLOPS до 23.2 PFLOPS. Максимальная конфигурация **PRIMEPC FX10** будет объединять 1024 стойки с водоохлаждаемыми платами, на которых монтируются новые 16-ядерные процессоры **SPARC64 IXfx**.

Судя по всему, компания *Fujitsu* намерена опровергнуть следующие два представления, довольно широко распространенные на российском суперкомпьютерном рынке:

- ввиду того, что передовые разработки, овестьвленные в супервычислителях из первой десятки *Top500*, являются стратегическим ресурсом стран-производителей, их коммерческое использование начинается только по прошествии полутора-двух лет – когда эти разработки, собственно, уже перестают быть передовыми;
- существует некоторый порог быстродействия суперкомпьютера (порядка 100 TFLOPS), после достижения которого типовую систему уже нельзя просто собрать из модулей, поскольку требуется исключительно высокий уровень компетенции системного интегратора и значительные дополнительные ресурсы различного вида.

✓ Айбизмовский суперкомпьютер “Sequoia” с быстродействием 20 PFLOPS

В 2012 году компания *IBM* завершит создание своего супервычислителя “*Sequoia*”, который строится в Ливерморской национальной лаборатории им. Э. Лоуренса (*Lawrence Livermore National Laboratory*) в Калифорнии (США). В законченном виде эта система с архитектурой *Blue Gene/Q* будет обеспечивать быстродействие 20 PFLOPS. Пока же она имеет 65 536 процессорных ядер, обеспечивающих производительность 677 TFLOPS, и занимает 17-е место в новейшем списке рейтинга *Top500*.

✓ Крейвский суперкомпьютер “Titan” с быстродействием до 20 PFLOPS

До конца 2012 года компания *Cray* модернизирует суперкомпьютер в Окридской национальной

Amount of supercomputers, listed in Top500 (2009–2011, 34th ÷ 38th lists), based on definite number of processor cores

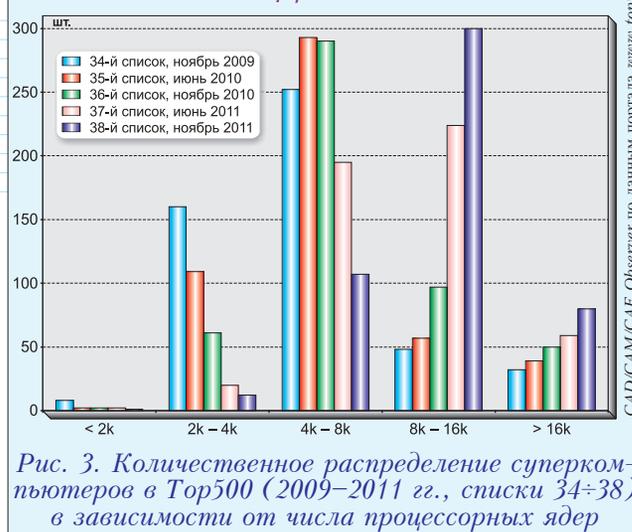


Рис. 3. Количественное распределение суперкомпьютеров в Top500 (2009–2011 гг., списки 34÷38) в зависимости от числа процессорных ядер

лаборатории (*Oak Ridge National Laboratory*) в штате Теннесси (США), вследствие чего его пиковое быстродействие возрастет до 20 PFLOPS.

Конструкция гибридной системы под названием “*Titan*” будет включать модули *Cray XK6*, построенные на базе новых 16-ядерных процессоров *AMD Interlagos* и графических ускорителей *NVIDIA Tesla X2090*.

✓ Айбизмовский суперкомпьютер “Mira” с быстродействием 10 PFLOPS

В 2012 году компания *IBM* построит для Аргонской национальной лаборатории (*Argonne National Laboratory*) систему под названием “*Mira*”, базирующуюся на архитектуре *Blue Gene/Q*, с быстродействием 10 PFLOPS.

Amount of supercomputers, listed in Top500 (2009–2011, 34th ÷ 38th lists), based on extreme number of processor cores

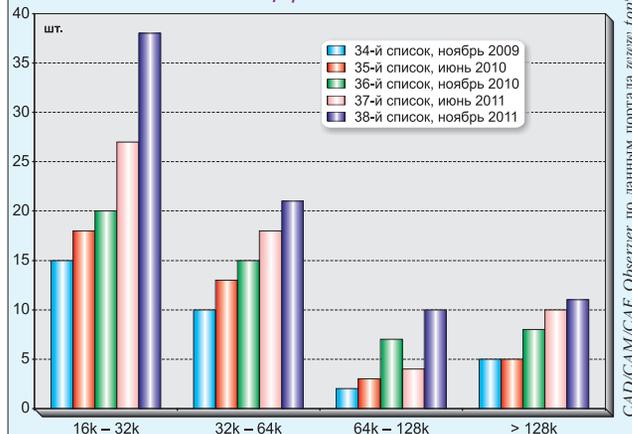


Рис. 4. Количество суперкомпьютеров в Top500 (2009–2011 гг., списки 34÷38) с экстремальным числом процессорных ядер

✓ **Суперкомпьютер “Blue Waters” (экс-IBM, ныне Cray) с быстродействием до 10 PFLOPS**

После расторжения контракта с IBM, создание суперкомпьютера “Blue Waters” с быстродействием 10 PFLOPS для National Center of Supercomputing Applications Иллинойского университета (University of Illinois) в городе Урбана-Шампейн (США) было доверено компании Cray.

Так же, как и “Titan”, система “Blue Waters” будет гибридной – на базе модулей Cray XK6 с процессорами AMD Interlagos и графических ускорителей нового поколения NVIDIA Kepler.

✓ **Суперкомпьютер “Stampede” от Intel и Dell с быстродействием до 10 PFLOPS**

Техасский центр передовых технологий (Texas Advanced Computing Center) будет оснащен суперкомпьютером “Stampede” с быстродействием 10 PFLOPS, созданным на базе серверов Dell Zeus с 8-ядерными процессорами Intel Xeon E5 и сопроцессорами Knights Corner. Это будет дебют нового чипа (рис. 1б).

✓ **Самый мощный суперкомпьютер в ЕС – “SuperMUC” с быстродействием 3 PFLOPS**

В середине 2012 года будет введен в эксплуатацию супервычислитель “SuperMUC” с пиковым быстродействием порядка 3 PFLOPS. Он будет размещен в Суперкомпьютерном центре им. Лейбница (Leibniz Supercomputing Centre) в Гархинге (федеральная земля Бавария, ФРГ). Система совместно создается компаниями IBM и Intel.

✓ **Первый в ЕС гибридный суперкомпьютер петафлопсового класса**

Вычислительная мощь суперкомпьютера “CURIE”, расположенного в вычислительном центре Très Grand Centre de Calcul (TGCC) в местечке Bruyères-le-Châtel близ Парижа (Франция), будет доведена до пикового значения 1.7 PFLOPS.

В результате модернизации, которая будет проводиться французской компанией Bull в рамках одного из проектов ассоциации Partnership for Advanced Computing in Europe (PRACE), в Евросоюзе появится первый гибридный суперкомпьютер петафлопсового класса. В его конструкции будут использованы разработанные в Bull “лезвия” и графические процессоры NVIDIA M2090.

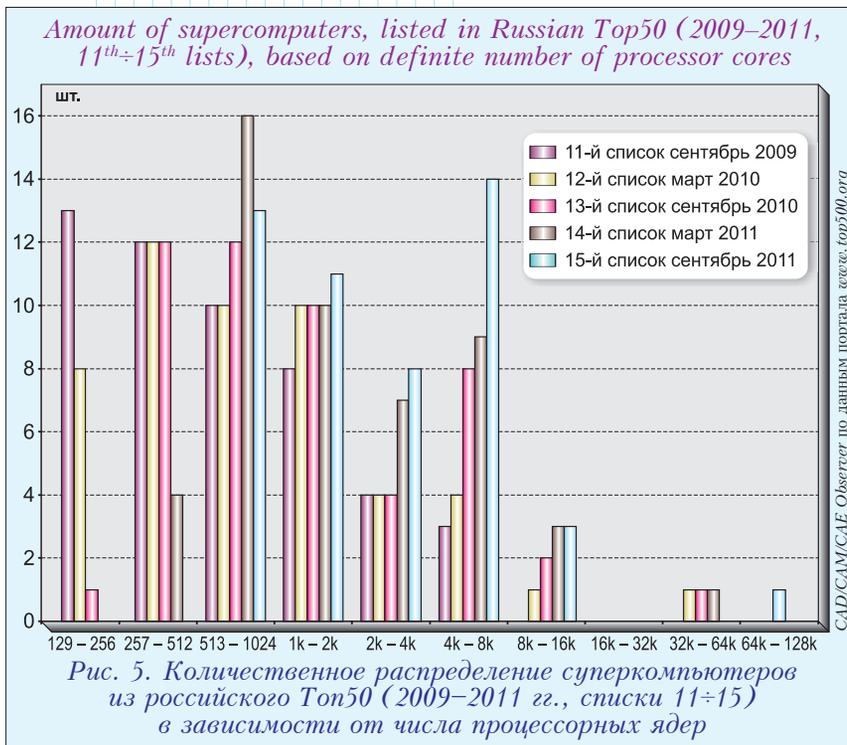
✓ **Разработка европейского суперкомпьютера эксафлопсового класса**

Консорциум PROSPECT (Promotion of Supercomputing Partnerships for European Competitiveness and Technology), объединивший ведущие компании и научно-исследовательские институты Евросоюза, которые работают в области высокопроизводительных вычислений, объявил о планах разработки к 2020 году суперкомпьютеров для эксафлопсовых вычислений. Сообщается, что базироваться они будут на архитектуре ARM, применяемой в настоящее время для встраиваемых и мобильных систем. Ключевая цель заключается в том, чтобы добиться высокой энергоэффективности, снизив энергопотребление в 15÷30 раз по сравнению с современными суперкомпьютерными системами – до уровня порядка 20 MW/EFLOPS.

Работы будут проводиться в рамках проекта под названием Mont-Blanc, который координируется Барселонским суперкомпьютерным центром (Barcelona Supercomputing Center). Ведущие разработчики архитектуры новой системы – французская компания Bull и британская ARM Holding, а разработкой программного обеспечения займется суперкомпьютерные центры упомянутой выше ассоциации PRACE.

✓ **Разработка 64-битной ARM-архитектуры с прицелом на рынок высокопроизводительных серверов**

Последние разработки британской компании ARM Holding, которая лицензирует свою 32-битную архитектуру для встраиваемых и мобильных систем, обратили на себя внимание ведущих вендоров, поставляющих серверы и рабочие станции. Так, например, стали известны планы компании Hewlett-Packard, которая собирается выпускать энергоэффективные серверы на базе процессоров техасской



компании *Calxeda*, акционером которой является *ARM Holding*.

Любопытно, какой будет реакция компании *Microsoft* на выпуск таких серверов и не поменяются ли её планы в отношении поддержки архитектуры *ARM* в *Windows Server*, как это уже случилось ранее – ведь хорошо известно, как проявилось более чем прохладное отношение *Microsoft* к архитектуре *ARM* во время разработки ОС *Windows 7*; в то же время система *Windows 8* рассчитана, в том числе, и на архитектуру *ARM*.

Разработки компании *ARM Holding* заставляют процессорного гиганта *Intel* наращивать свои конкурентные преимущества, что в результате поможет повысить показатели энергоэффективности процессоров общего назначения. Так недавно было объявлено, что *Intel* уже занимается тестированием первых образцов микросхем, произведенных в соответствии с технологической нормой *14 nm*. А вот компания *AMD*, наоборот, сделала выбор в пользу сотрудничества с *ARM Holding* и не исключает для себя разработку процессоров с архитектурой *ARM*.

Еще больше подогревает интерес к *ARM Holding* её недавнее сообщение о дальнейших планах разработки 64-битной архитектуры *ARMv8*; эти работы в недрах компании ведутся уже с 2007 года. Новая архитектура в первую очередь будет востребована в *HPC*-системах.

✓ Реальное быстродействие “Ломоносова” превысит, наконец, 1 PFLOPS?

В результате третьей модернизации суперкомпьютера “Ломоносов”, о которой в сентябре 2011 года объявил ректор МГУ, пиковое быстродействие суперкомпьютера “Ломоносов” должно вырасти до 1.6 PFLOPS. На момент сдачи номера в печать (20 января 2012 года) сообщения о завершении модернизации еще не поступало.

После второй модернизации пиковая производительность системы (1.373 PFLOPS) могла обеспечивать реальное быстродействие на тестах *LINPACK* на уровне всего лишь 0.674 PFLOPS. Если вычислительная эффективность (49%) не изменится, то реальная производительность модифицированной системы составит 0.784 PFLOPS и явно не дотянет до 1 PFLOPS.

Еще в комментариях к результатам 37-го списка специалисты компании “Т-Платформы” утверждали, что им просто не хватило времени на то, чтобы провести необходимые настройки, обеспечивающие более высокую вычислительную эффективность комплекса, до крайней даты подачи заявки в *Top500*. Впрочем,

показатели “Ломоносова” не претерпели никаких изменений и в 38-м списке.

Интересно, окажется ли подписание в срок актов сдачи-приемки важнее международного престижа? Ведь *нетопфлопсника* у России нет до сих пор, если считать реальную, а не пиковую вычислительную мощь.

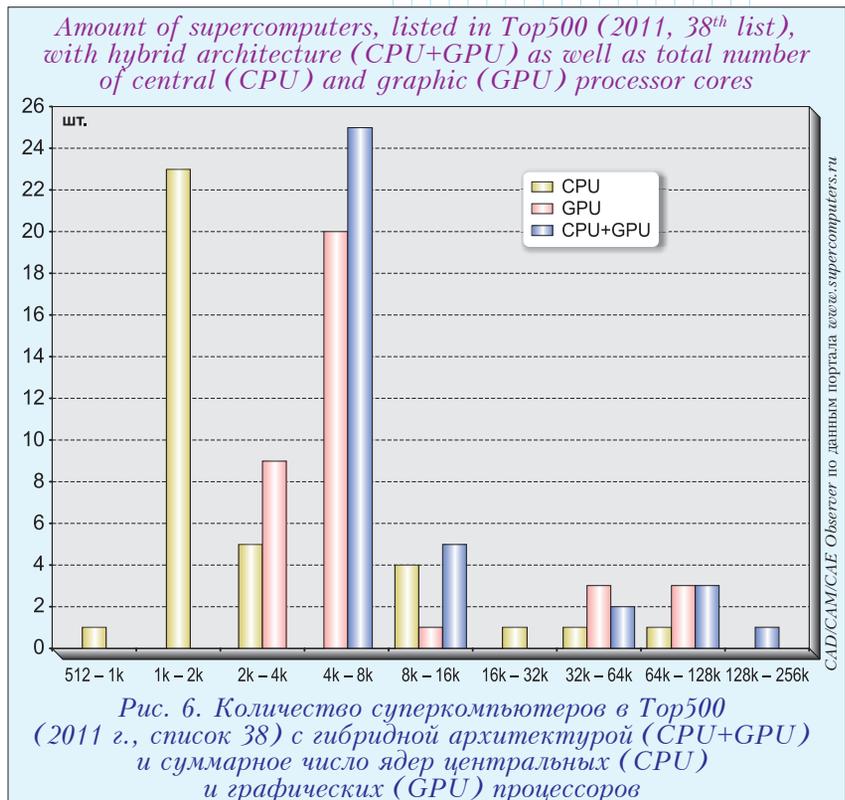
✓ Для МГУ проектируется новый суперкомпьютер с быстродействием 10 PFLOPS

В соответствии с контрактом, заключенным с МГУ им. М.В. Ломоносова, компания “Т-Платформы” приступает к проектированию “с нуля” нового суперкомпьютера на 10 PFLOPS, который станет уже пятой вычислительной системой МГУ.

Суперкомпьютер будет размещаться в Научно-исследовательском вычислительном центре МГУ, однако помещение для него, по всей видимости, будет выбрано после завершения разработки технического проекта, который должен охватывать и инженерную инфраструктуру кластера.

Согласно техническому заданию, новая система будет гибридной, использующей вычислительные узлы двух типов:

- узлы на базе центральных процессоров (*Central Processing Unit – CPU*) с системой команд *x86_64*. Эти узлы должны обеспечить производительность не менее 3 PFLOPS;
- узлы, сочетающие *CPU* с графическими ускорителями (*Graphics Processing Unit – GPU*) или с интеловскими сопроцессорами *MIC*, в которых на одном кристалле размещается более 50-ти



вычислительных ядер; система команд должна быть совместима с системой команд *x86_64*.

Финансирование проектных работ (~4 млн. рублей) осуществляется из внебюджетных средств МГУ. Если отталкиваться от расценок компании “Т-Платформы” в предыдущих контрактах с МГУ, то в целом новый суперкомпьютер с быстродействием 10 *PFLOPS* обойдется в сумму, превышающую 10 млрд. рублей (то есть, порядка 330 млн. *USD*).

✓ **Страсти по российской суперкомпьютерной технологической платформе завершатся?**

В конце сентября 2011 года состоялось общее собрание участников проекта Национальной суперкомпьютерной технологической платформы (НСТП), которое приняло решение о создании объединенной платформы на базе двух концепций, разработанных Институтом программных систем РАН и МГУ им. М.В. Ломоносова. Присутствовали представители 120-ти из двух сотен научных, образовательных и коммерческих организаций, упомянутых в обоих вариантах платформы.

Любопытно, что объединение будет происходить в рамках концепции по развитию технологии высокопроизводительных вычислений на базе суперЭВМ экзафлопсового класса на период 2012–2020 гг., подготовленной рабочей группой под эгидой “Росатома”. “Фишка” заключается в том, что высокое собрание приняло решение об объединении усилий для выполнения программы, не имея возможности ознакомиться с твердой копией предлагаемой концепции, которая является документом “для служебного пользования” со всеми вытекающими из этого ограничениями...

Ожидается, что на проект будут выделены средства в размере 45÷55 млрд. рублей, то есть порядка 1.5÷1.8 млрд. долларов. Тем не менее, несмотря на вполне адекватный объем

финансирования, нельзя считать, что всё идет гладко. Продолжительность бюрократического согласования НСТП и беспрецедентный уровень секретности, принятый в “Росатоме”, порождают вполне обоснованные сомнения, что суперкомпьютер экзафлопсового класса (в том случае, если он будет создан) удастся “пощупать” широкой российской и мировой суперкомпьютерной общественности. Еще меньше надежд на то, что участники проекта смогут испытать законную гордость за отечество, достигшее высоких позиций в мировом рейтинге, поскольку “Росатом” этот рейтинг игнорирует (утверждая при этом, что он уже сейчас обладает суперкомпьютером-петафлопсником).

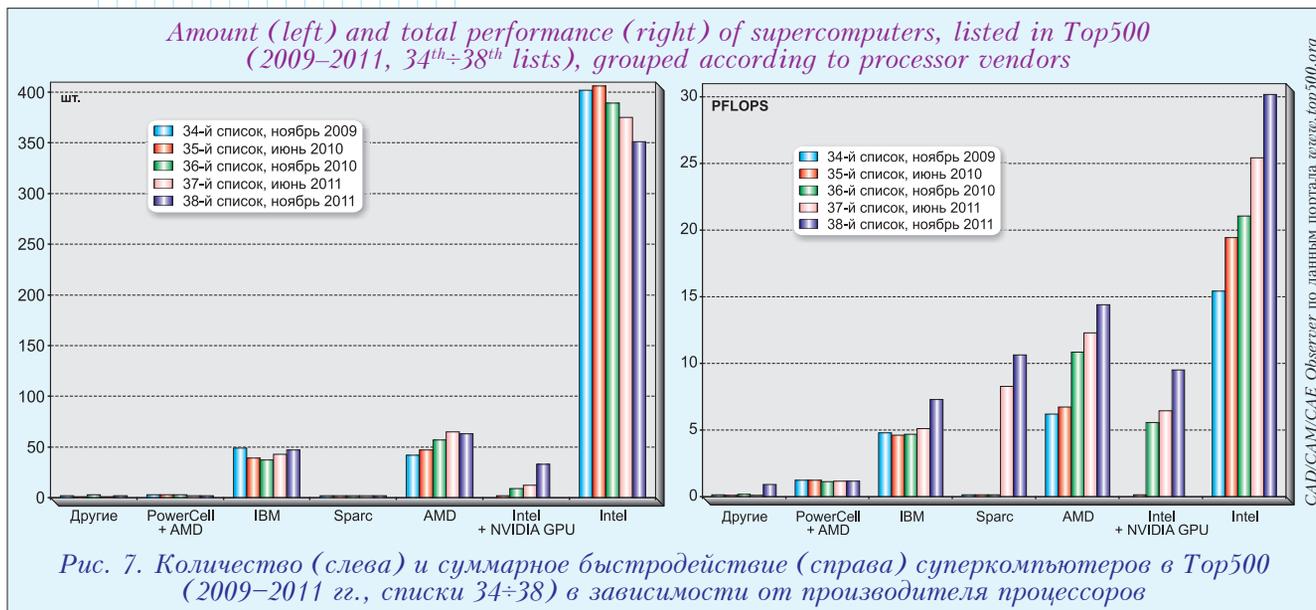
Для сравнения укажем, что объем инвестиций в экзафлопсовую программу Японии (которая уже имеет солидный задел – хотя бы в виде нынешнего рекордсмена *Top500* и масштабируемого до 23.5 *PFLOPS* суперкомпьютера) будет немногим меньшим – порядка 1.3 млрд. долларов.

✓ **Будет выпущен российский многоядерный процессор?**

В октябре 2011 года Министерство промышленности и торговли РФ объявило конкурс на создание мощного многоядерного микропроцессора. Сумма для оплаты заказа на разработку в размере 760 млн. рублей (~25 млн. долларов) выделяется в рамках государственного оборонного заказа на 2011–2013 гг.

Техническое задание определяет следующие параметры процессора: производительность – 150 *GFLOPS*; число ядер – 8÷12; кроме того, компьютеры, созданные на базе такого процессора, должны управляться отечественной операционной системой “Эльбрус”.

На третий год после окончания опытно-конструкторских работ годовая потребность в процессорах оценивается цифрой 100 тыс. штук.



Теперь, после восторженного перечисления достижений мировой суперкомпьютерной отрасли в 2011 году и ближайших планов её развития, перейдем к сухим цифрам рейтинга *Top500* и финансовых отчетов поставщиков процессоров.

Мировой рейтинг суперкомпьютеров *Top500*

Данные последних пяти списков *Top500* (с 34-го по 38-й), то есть за два года, сопоставляются на представленных ниже диаграммах.

Число процессорных ядер в суперкомпьютерах

Статистика последних двух лет, отражающая количество входящих в *Top500* систем, построенных на базе многоядерных процессоров, приведена на **рис. 2**.

В текущем, 38-м списке впервые наиболее популярными стали 6-ядерные процессоры – на них основываются 229 систем. До этого лидировали 4-ядерные процессоры; пик их популярности пришелся на 34-й список – на тот момент на их базе было построено 426 систем (то есть, свыше 80%). За полгода в два раза расширилось применение 8-ядерных процессоров (38 систем), а число систем с 16-ядерными процессорами выросло до 12-ти.

Как свидетельствуют данные двух последних списков *Top500*, самое популярное число ядер в одной системе – от $8k$ до $16k$, где $k=1024$. В 38-м списке таких систем оказалось уже 300 (**рис. 3**). До этого наиболее часто встречалось количество ядер в пределах от $4k$ до $8k$. Пик популярности таких систем пришелся на 35-й список, где их насчитывалось 293.

Суперкомпьютеры с рекордными характеристиками, имеющие значительно большее число ядер, мы условно выделяем в графу “свыше $16k$ ”. За два года их число возросло с 32-х до 80-ти (**рис. 4**). Общее количество систем, у которых число ядер превышает $128k$, в 38-м списке рейтинга *Top500* достигло 11-ти.

Рекордсменом в этой номинации является “*K computer*”, лидер мирового рейтинга – 705 024 ядра ($669k$). Далее следует суперкомпьютер, установленный в *Forschungszentrum* в городе *Jülich* – 294 912 ядра, то есть $228k$. Затем идет крейвский *Jaguar* – 224 162 ядра, или $219k$.

Для российского *Top50* этот показатель пока значительно скромнее (**рис. 5**). В 15-м списке, опубликованном в сентябре 2011 года, более $8k$ процессорных ядер имеют всего четыре системы из 50-ти. Числом ядер свыше $16k$ может похвастаться только лидер списка – супервычислитель “Ломоносов”, имеющий гибридную архитектуру; с учетом графических процессоров общее количество его ядер достигает цифры 71 972 (примерно $70k$).

Суперкомпьютеры с гибридной архитектурой

В ноябрьском 2011 года 38-м списке *Top500* существенно, с 19-ти до 39-ти, выросло число систем с гибридной архитектурой, что побудило организаторов рейтинга соответствующим образом

Amount of supercomputers, listed in Russian Top50 (2009–2011, 11th–15th lists), grouped according to processor vendors

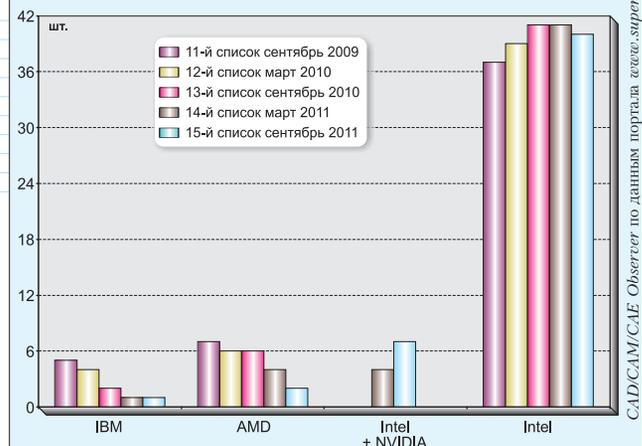


Рис. 8. Российский Top50 (2009–2011 гг., списки 11–15): сравнение количества суперкомпьютеров на базе процессоров различных производителей

препарировать и дополнить статистическую информацию. Мы, в свою очередь, также дополнили наш набор диаграмм и графически показали (**рис. 6**), сколько суперкомпьютеров с гибридной архитектурой (*CPU+GPU*) имеют то или иное суммарное количество ядер центральных и графических процессоров.

Intel, AMD, NVIDIA, IBM and ARM quarterly revenue for 2008–2011

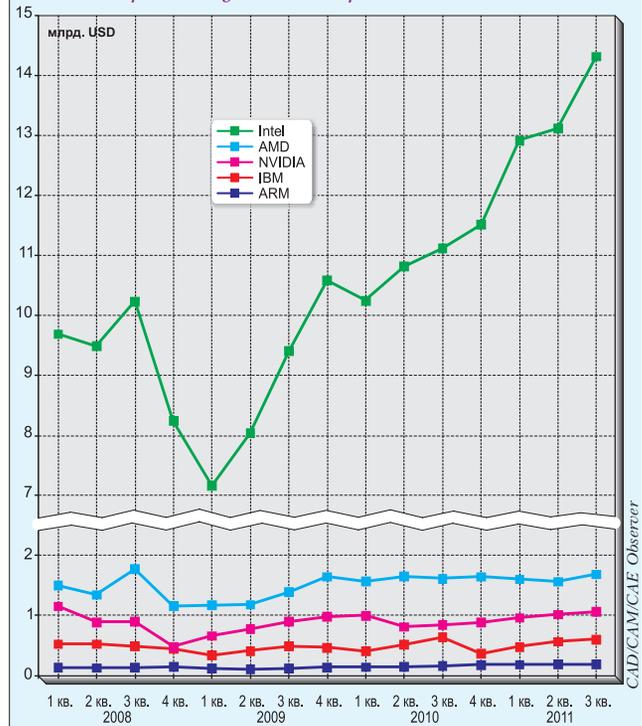


Рис. 9. Квартальные доходы Intel, AMD, NVIDIA, IBM и ARM в 2008–2011 гг.

Structure of Intel and AMD annual revenue; NVIDIA and ARM as well as IBM microelectronics annual revenue for 2008–2010

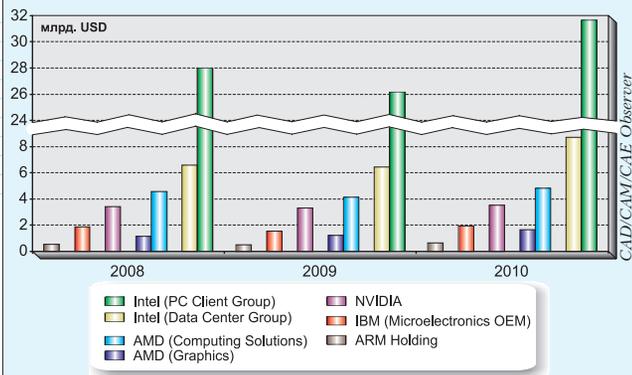


Рис. 10. Годовой доход компаний Intel, AMD, NVIDIA, ARM, а также IBM (только в сфере микроэлектроники) в 2008–2010 гг.

Как обычно, для сравнения мы взяли данные пяти последних списков за 2009÷2011 годы (№№ 34÷38), для чего понадобилось дополнительно обработать данные более ранних списков *Top500*.

В первой десятке *Top500* сейчас представлены четыре гибридные системы:

1 китайский суперкомпьютер “*Tianhe-1A*” (2-е место) сочетает центральные процессоры *Intel Xeon X5670* и графические процессоры *NVIDIA Tesla C2050*. Из общего числа процессорных ядер (186 368) графическими являются 100 352;

2 китайский суперкомпьютер “*Nebulae*” (4-е место) построен на процессорах *Intel X5650* и *NVIDIA Tesla C2050*, число ядер – 120 640 (64 960);

3 в японском вычислителе “*Tsubame 2.0*” (5-е место) сочетаются процессоры *Intel Xeon X5670* и *NVIDIA*, число ядер – 73 278 (56 994);

4 американский суперкомпьютер “*Roadrunner*” (10-е место) построен на базе процессоров *AMD Opteron* и графических процессоров *PowerXCell 8i*, число ядер – 122 400 (110 160).

Следует отметить, что “*Roadrunner*” стал не только первым петафлопсником, но и первым суперкомпьютером с гибридной архитектурой. Напомним, что он появился в июне 2008 года в 31-м списке *Top500*.

По первой десятке видно, что наиболее популярным является комбинация, которую мы обозначим как *Intel+NVIDIA GPU*. Всего в *Top500* таких систем – 33 (рис. 7, слева). С использованием сочетания *AMD+PowerXCell 8i* построено два суперкомпьютера. Суммарная производительность этих систем показана на рис. 7 справа. Кроме того, в *Top500* замечены такие сочетания: *AMD+ATI GPU* (одна система); *Intel+ATI GPU* (одна система); *AMD+NVIDIA GPU* (две системы).

В 15-м списке российского *Top50* гибридную архитектуру имеют семь систем из 50-ти (рис. 8), причем все они используют наиболее популярную комбинацию *Intel+NVIDIA GPU*.

Таким образом, графические ускорители *NVIDIA GPU* набирают популярность в сфере создания супервычислителей. Еще более стремительному их распространению, наверняка, будет способствовать недавнее решение *NVIDIA* открыть исходный код компилятора для платформы параллельного программирования *CUDA (Compute Unified Device Architecture)*.

Ведущие производители процессоров для суперкомпьютеров

Поставщиком процессоров для подавляющего большинства суперкомпьютеров, входящих в *Top500*, является компания *Intel* (рис. 7, слева). В ноябре 2010 года, июне и ноябре 2011 года количество систем на базе интеловских процессоров

Intel, AMD, NVIDIA, IBM and ARM annual revenue for 2008–2010 (left) and market capitalization for 2010–2011 (right)

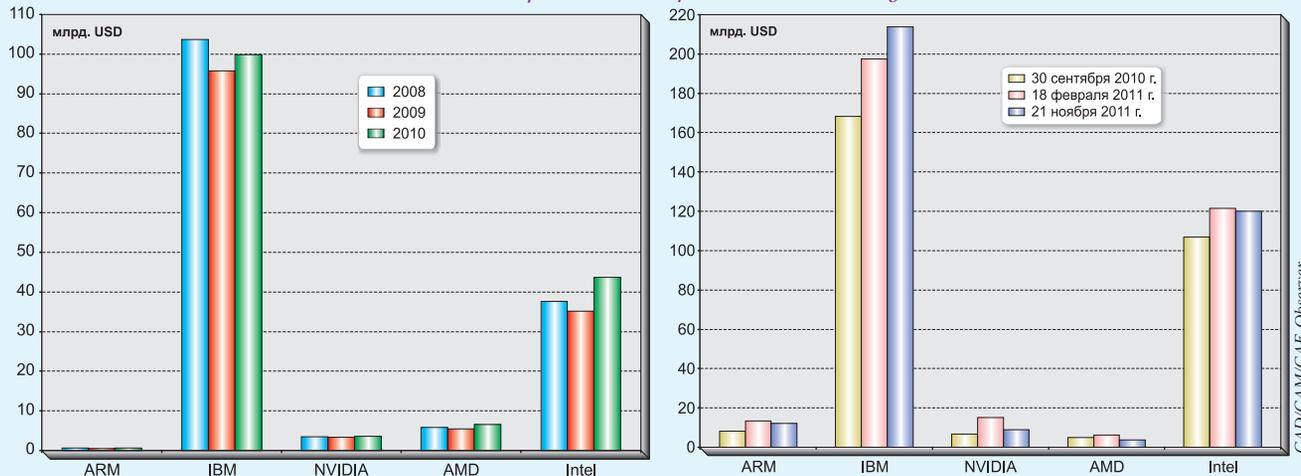


Рис. 11. Годовой доход в 2008–2010 гг. (слева) и рыночная капитализация в 2010–2011 гг. (справа) компаний Intel, AMD, NVIDIA, IBM и ARM

Implementation segments of supercomputers: amount (left) and total performance (right) of systems, listed in Top500 (2009–2011, 34th–38th lists)

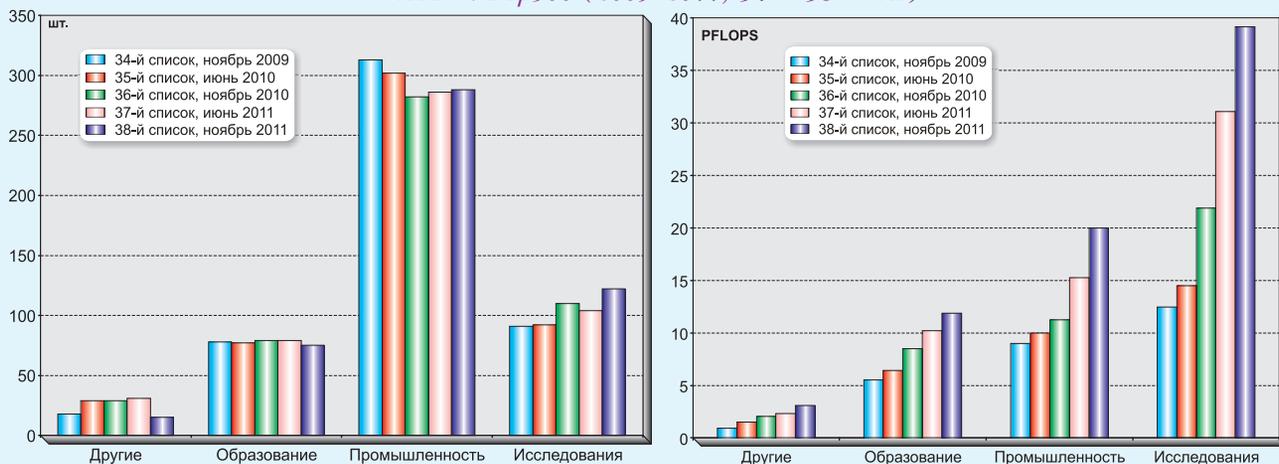


Рис. 12. Области применения суперкомпьютеров: количество (слева) и суммарное быстродействие (справа) систем, включенных в Top500 (2009–2011 гг., списки 34÷38)

составляло соответственно 398, 387 и 384 (в том числе гибридных систем – 9, 12, 33).

На втором месте идет компания AMD – 57, 65 и 63 системы соответственно. Третье место занимает IBM – 40, 45 и 49 систем (в том числе гибридных – 3, 2, 2). А вот в активе компании Fujitsu, создателя чемпиона нынешнего рейтинга, в последних трех списках Top500 – всего по две системы.

Сравнение по показателю суммарной производительности систем, построенных на процессорах соответствующих вендоров, для последних трех списков также оказывается в пользу Intel – 26.6, 31.9 и 39.7 PFLOPS (рис. 7, справа), включая весомый вклад гибридных систем – 5.6, 6.5 и 9.5 PFLOPS. Для компании AMD цифры будут следующими: 10.9, 12.3 и 14.4 PFLOPS.

Третье место за компанией Fujitsu – 0.2, 8.3 и 10.6 PFLOPS; прирост производительности в последних двух списках почти на два порядка достигнут за счет лидера рейтинга. Компания IBM оказалась отодвинутой, таким образом, на четвертое место – 5.8, 6.3 и 8.4 PFLOPS; вклад гибридных систем составляет 1.12, 1.17 и 1.17 PFLOPS соответственно.

Интеловские процессоры распределяются по трем семействам: EM64T, IA-64 и Core. Все процессоры “Голубого гиганта” принадлежат к семейству POWER, а процессоры AMD – к семейству AMD x86_64. На базе процессоров с архитектурой SPARC в текущем списке построены две системы, включая лидера Top500.

Как свидетельствует российский рейтинг Top50, ведущими производителями процессоров, на базе которых построены суперкомпьютеры, установленные на территории России, являются три компании – Intel, AMD и IBM (см. рис. 8). В 15-м списке (сентябрь 2011 г.) зафиксировано, что подавляющее большинство (47 систем) сделано на базе интеловских процессоров, включая 7 гибридных систем;

всего лишь две системы построены на процессорах AMD и одна – на базе микроприборов IBM.

Анализ финансовых показателей поставщиков процессоров мы предлагаем провести читателям самостоятельно с использованием информации, представленной на наших графиках (рис. 9÷11). Помимо показателей традиционной триады – Intel (данные для подразделений Data Center Group и PC Client Group), AMD (данные для групп решений Computing Solutions и Graphics) и IBM (данные для подразделения Microelectronics OEM) – диаграммы отображают и показатели двух других компаний: NVIDIA, которая в новейшем списке рейтинга Top500, наконец, признана в качестве поставщика процессоров для суперкомпьютеров, и ARM Holding, амбиции которой стать разработчиком

Implementation segments of supercomputers, listed in Russian Top50 (2009–2011, 11th–15th lists)

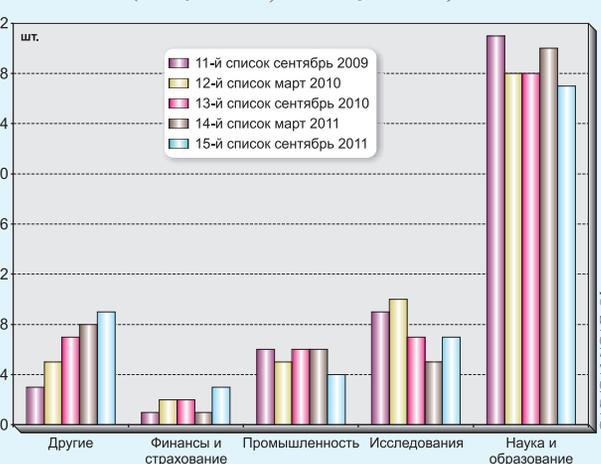


Рис. 13. Области применения суперкомпьютеров, включенных в российский Top50 (2009–2011 гг., списки 11÷15)

Amount (left) and total performance (right) of supercomputers, listed in Top500 (2009–2011, 34th–38th lists), in developed and emerging regions

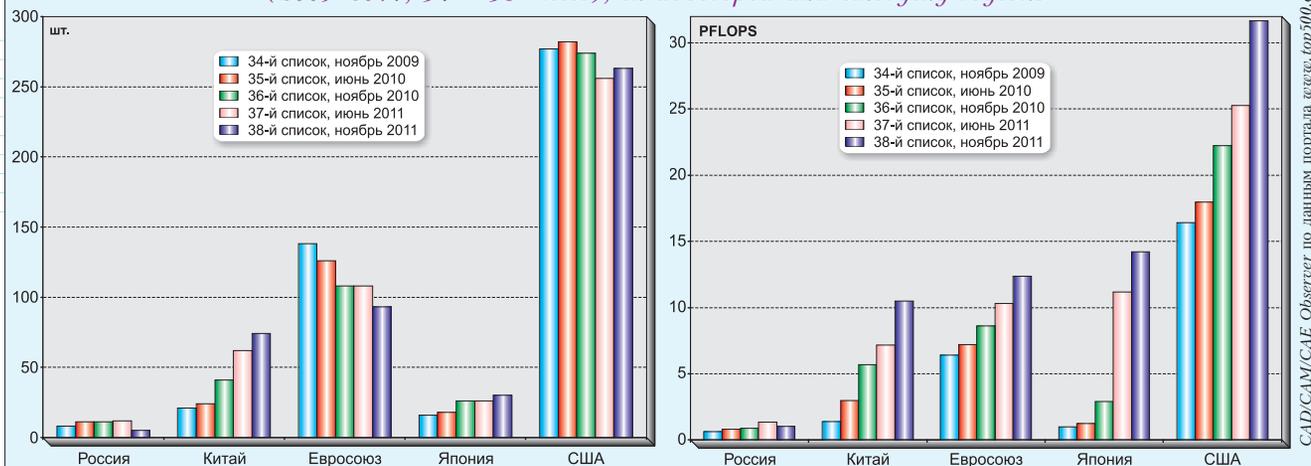


Рис. 14. Количество (слева) и суммарное быстродействие (справа) включенных в Top500 (списки 34–38, 2009–2011 гг.) суперкомпьютеров в развитых и развивающихся регионах мира

архитектуры процессоров для HPC-систем будут удовлетворены уже в обозримом будущем.

Для полноты картины эти графики, по всей видимости, необходимо дополнить данными о компании Fujitsu. Это будет являться нашим “домашним заданием” к следующему обзору.

Области применения систем ВПВ

Наибольшее количество суперкомпьютеров из Top500 работает в промышленности: в 38-м списке таких 288. Для научных исследований применяются 122 системы, а в образовании – 75 (рис. 12, слева). В сравнении с 37-м списком, радикальных изменений не произошло – там было зафиксировано 286, 104 и 79 систем соответственно.

По суммарной производительности впереди идут системы для науки – 39.1 PFLOPS. На промышленность работает совокупная вычислительная мощность 20.0 PFLOPS, а на образование – 11.9 PFLOPS (рис. 12, справа). В сравнении с 37-м списком, во всех сегментах можно отметить заметный прирост суммарной производительности: 31.1, 15.3 и 10.2 PFLOPS.

Согласно данным российского рейтинга Top50, сегмент работающих на промышленность суперкомпьютеров в сентябре 2011 г. сократился до четырех систем (рис. 13), а в сфере научных исследований число систем выросло до семи. В сфере российского высшего образования трудятся 27 супервычислителей. Полгода назад, в марте 2011 года, цифры были такими: 6, 5 и 30 систем.

Региональный срез рейтинга Top500

Региональный “табель о рангах” (рис. 14, 15) включает США, Японию, Евросоюз, Китай и Россию.

✓ США

По данным на ноябрь 2011 года, в США нашли приют больше половины (52.6%) систем, которые набрали проходной балл в Top500 – 263 суперкомпьютера. Полгода назад их было немного меньше – 256 (51.2%).

Суммарная производительность этих 263-х систем достигает 31.7 PFLOPS. За полгода доля США в общей производительности Top500 практически не изменилась – 42.8% вместо 42.9%. Год назад она превышала половину (51%); тогда суммарная мощность американских супервычислителей из списка составляла 22.2 PFLOPS.

В ближайший год тенденция сокращения доли США в Top500 должна смениться ростом, поскольку ожидается строительство рекордных супервычислителей, о которых шла речь в начале статьи.

Shares of amount (left) and total performance (right) of supercomputers, listed in Top500 (2011, 38th list), in developed and emerging regions

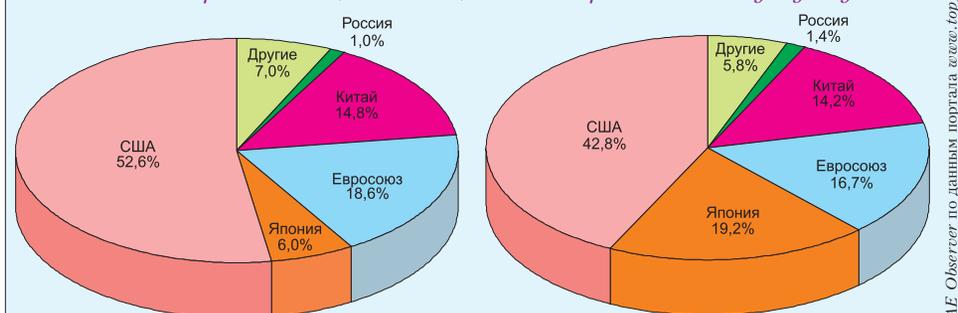


Рис. 15. Доля количества (слева) и суммарного быстродействия (справа) для включенных в Top500 (2011 г., список 38) суперкомпьютеров в развитых и развивающихся регионах мира

Amount (left) and total performance (right) of supercomputers, listed in Russian Top50 (2010–2011, 13th–15th lists), from world and Russian leading vendors

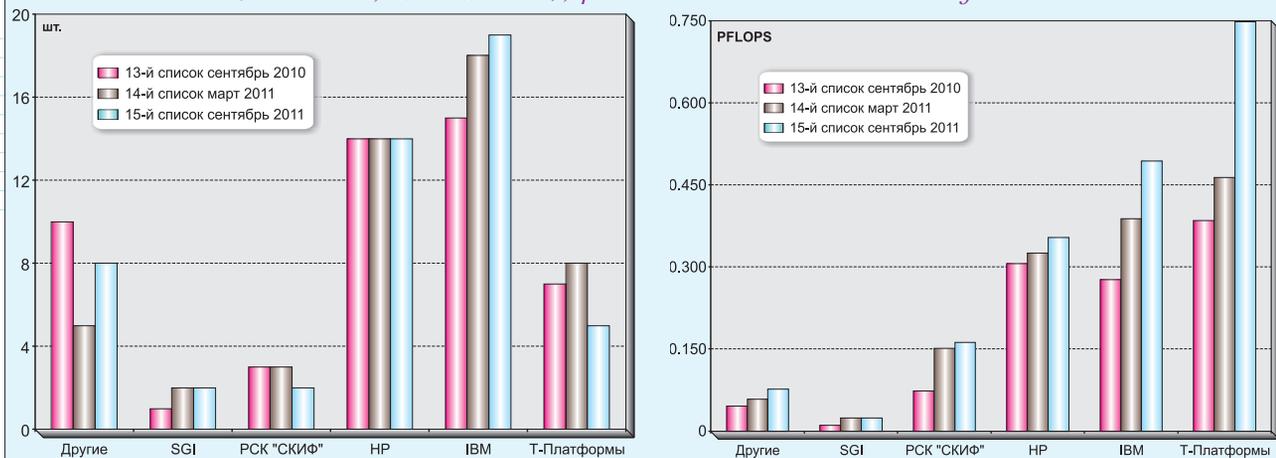


Рис. 17. Количество (слева) и суммарное быстродействие (справа) суперкомпьютеров из списка, включенных в российский Top50 (2010–2011 гг., списки 13–15), от ведущих мировых и российских производителей

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

реальным быстродействием 674 TFLOPS занимает **18-е место** в мире и в 15.6 раза уступает по производительности мировому лидеру – японскому “K computer”.

Ведущие производители суперкомпьютеров

Показатели ведущих производителей суперкомпьютеров в рейтинге Top500 представлены в рис. 16. Все компании отранжированы в соответствии с суммарной производительностью систем, набравших проходной балл в Top500.

Рассматриваемые компании (организации) относятся к следующим трем группам (каждая компания упоминается только один раз):

1) производители суперкомпьютеров, входящих в первую десятку Top500, – Fujitsu, NUDT, Cray, Dawning, NEC, SGI, Bull, IBM;

2) лидеры мирового рынка HPC-систем – Hewlett-Packard, Dell, Oracle (Sun);

3) участники региональных рынков HPC-систем – Appro, NRCPSET, NEC, “Т-Платформы”.

По количеству установленных суперкомпьютеров лидером трех последних списков (ноябрь 2010 г., июнь, ноябрь 2011 г.) является корпорация IBM, построившая 200, 213 и 223 системы из пятисот соответственно. Показатели Hewlett-Packard скромнее – 158, 153 и 141 система (рис. 16, сверху). На порядок меньшим числом установленных систем могут похвастаться компании Cray, SGI, Bull, Dell и Oracle (Sun) – в ноябре 2011 года их было 27, 17, 15, 11 и 8 соответственно.

В аспекте суммарной производительности установленных систем, бесспорным лидером Top500 является IBM (рис. 16, снизу). В ноябре 2010 года, в июне и ноябре 2011 года этот

важнейший показатель имел значения 12.1, 15.3 и 20.3 PFLOPS соответственно.

На вторую позицию по суммарной производительности в ноябре 2011 года вышли суперкомпьютеры Fujitsu – 10.9 PFLOPS. Третью позицию теперь занимают системы от Cray – 10.6 PFLOPS. На четвертом месте находятся системы от Hewlett-Packard – 9.7 PFLOPS.

Значения суммарной производительности суперкомпьютеров остальных компаний находятся в промежутке от 1 до 3.5 PFLOPS. Отметим, что системы от Appro и NRCPSET, представленные в Top500, по этому показателю впервые преодолели рубеж 1 PFLOPS.

В 15-м списке российского Top50 (рис. 17) первую позицию по суммарной производительности систем занимает компания “Т-Платформы” (748 TFLOPS у пяти систем), опережая IBM (494 TFLOPS у 19-ти систем) и Hewlett-Packard (354 TFLOPS у 14-ти систем).

Таким образом, судя по Top50, компания “Т-Платформы” заметно обгоняет своих зарубежных конкурентов по суммарной производительности, и в то же время значительно отстает по числу установленных систем, набравших проходной балл в Top50. Позиция компании “Т-Платформы” в мировом Top500, в окружении её реальных конкурентов, не изменилась (рис. 16), однако отрыв лидеров существенно увеличился. ☺

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)