

Системы высокопроизводительных вычислений в 2011–2012 годах: обзор достижений и анализ рынка

Часть II

(Продолжение. Начало в #5/2012)

Сергей Павлов, Dr. Phys.

Во второй части обзора мы обратимся к данным из опубликованного в ноябре 2012 года юбилейного, 40-го, списка суперкомпьютерного рейтинга **Top500** (www.top500.org). Напомним, что история этого долгоиграющего мероприятия началась 20 лет назад, когда в июне 1993 года вышел в свет 1-й список самых мощных суперкомпьютеров в мире. Теперь у нас есть возможность с завидной регулярностью, с полугодовой периодичностью, получать информацию о достижениях в сфере *High-Performance Computing* (**НПС**), отслеживая, таким образом, тенденции развития инструментов для высокопроизводительных вычислений (**ВПВ**).

Если воспользоваться единицей изменения быстродействия супервычислителей, принятой в рейтинге *Top500* (в качестве таковой сейчас служит $1 \text{ GFLOPS} = 10^9 \text{ FLOPS}$), то нетрудно подсчитать, что за 20 лет суммарная производительность пятиста систем, включаемых в рейтинг, возросла с **1 123 GFLOPS** в 1-м списке до **161 973 487 GFLOPS** в 40-м (табл. 1). То есть, рост превысил пять порядков – почти 150 000 раз. Впрочем, теперь более привычными стали подсчеты в петафлопсах ($1 \text{ PFLOPS} = 10^{15} \text{ FLOPS}$). В этих единицах измерения суммарные достижения юбилейного списка записываются более компактно – **162 PFLOPS**.

Примечательно, что если лидеру 1-го списка в 1993 года было еще далеко даже до терафлопсового уровня реальной производительности (он выдавал на-гора всего лишь **59.7 GFLOPS**), то 20 лет спустя уже 23 суперкомпьютера из пятисот преодолели петафлопсовый барьер. Эти системы установлены в семи странах: США (10 систем), Японии (4), Великобритании (2), Германии (2), Китае (2), Франции (2), Италии (1). За прошедшие с июня 2012 года полгода прирост числа петафлопсников наблюдается только в США – плюс 3 системы.

Если же опираться на показатель пиковой производительности, то к супервычислителям петафлопсного класса можно отнести еще 9 систем. Они распределяются так: Китай (3), США (2), Германия (1), Австралия (1), Россия (1) и Саудовская Аравия (1).

Теперь приведем основные параметры нового рекордсмена и девяти систем, образующих “горячую десятку” юбилейного списка.

“Titan” from Cray – champion of world's supercomputers Top500 list in November 2012



Источник: Oak Ridge National Laboratory

Рис. 1. “Titan” от компании Cray возглавил суперкомпьютерный рейтинг Top500 в ноябре 2012 г.

Лидеры юбилейного рейтинга Top500

1 Возглавил юбилейный рейтинг американский суперкомпьютер **Titan** (рис. 1) от компании *Cray*, реальное быстродействие которого достигает **17.59 PFLOPS**, а пиковое – **27.113 PFLOPS**. Вычислительная эффективность (отношение реальной производительности к пиковой) у рекордсмена составляет 64.9%.

Система *Titan* является гибридной: она построена на базе новейшей архитектуры *Cray XK7* с применением 16-ядерных процессоров *Opteron 6274* (тактовая частота **2.2 GHz**) от компании *AMD* и ускорителей *K20x* компании *NVIDIA*. Общее число вычислительных ядер – **560 640**, в том числе **261 632** ядра графических процессоров.

Система установлена в Окриджской национальной лаборатории (*Oak Ridge National Laboratory*), расположенной в штате Теннесси (США).

Следует отметить, что на месте инсталляции (и, соответственно, в “горячей десятке”) *Titan* заменил лидера 34-го и 35-го списков, опустившегося в 39-м списке на 6-ю позицию, – суперкомпьютер *Jaguar*. Он был построен на базе гибридной архитектуры *Cray XK6*, в которой сочетались процессоры *AMD Opteron 6274 16C* и

графические ускорители *NVIDIA 2090*; реальное быстродействие **1.941 PFLOPS** (пиковое – **2.628 PFLOPS**) создавалось в общей сложности 298 592-мя ядрами.

Энергоэффективность рекордсмена составляет **2 142.77 MFLOPS/W**, что обеспечивает ему не только лидерство по этому показателю в первой десятке, но и 3-е место среди всех систем, включенных в *Top500*. При этом *Titan* не слишком уступает лучшей по этому показателю системе *Beacon* (**2449.57 MFLOPS/W**), которая занимает 253-е место по реальному быстродействию (**0.111 PFLOPS**).

Кстати сказать, система *Beacon* также является гибридной – в ней сочетаются 8-ядерные процессоры *Xeon E5-2670* с тактовой частотой **2.6 GHz** и ускорители *Intel Xeon Phi 5110P*. (Новый бренд *Intel Xeon Phi* сменил *Knights Corner* – это рабочее название использовалось в процессе создания прототипа сопроцессора на базе архитектуры *MIC (Many Integrated Cores)* с рекордной производительностью **1 TFLOPS**). Может быть, и не стоило бы столь подробно обсуждать прелести компьютера *Beacon*, если бы его не построила компания *Appro International*, которую купила компания *Cray*. Об этой сделке, сумма которой составила 25 млн. долларов, было объявлено 9 ноября 2012 года – всего за три дня до представления 40-го списка на конференции *SC'12* в Солт-Лейк-Сити (штат Юта, США). Ну а последствия проявятся уже в следующем списке *Top500*.

❷ После полугодового лидерства на вторую ступеньку опустился супервычислитель *Sequoia* от компании *IBM*. При этом крайневский “Титан” превзошел “Секвойю” как по реальной (**16.325 PFLOPS**), так и по пиковой (**20.133 PFLOPS**) производительности. В некотором смысле повторилась старая история, когда айбиэмовскую “Калифорнийскую бегающую кукушку”, преодолевшую петафлопсный барьер, уже через полгода настиг крайневский “Ягуар”.

Напомним, что система *Sequoia* с архитектурой *Blue Gene/Q* построена на базе 16-ядерных процессоров собственного производства *IBM – Power BQC* с тактовой частотой **1.60 GHz**. Общее число ядер составляет **1 572 864**. Вычислительная эффективность – **81.1%**, что выше, чем у нынешнего лидера. *Sequoia* “пустила корни” в Ливерморской национальной лаборатории им. Э. Лоуренса (*Lawrence Livermore National Laboratory*) в Калифорнии.

Энергоэффективность **2069.04 MFLOPS/W** обеспечила системе *Sequoia* 27-е место по этому показателю среди всех супервычислителей, включенных в 40-й список *Top500*, и 4-е место в первой десятке. В предыдущем списке места были повыше – 19-е и 3-е соответственно.

❸ Безраздельный лидер обоих списков 2011 года, японский “*K computer*” компании *Fujitsu*, построенный на базе Института физико-химических исследований (*RIKEN*) в городе Кобе, в юбилейном списке съехал еще на одну ступеньку вниз и занимает теперь только 3-е место.

Напомним, что “*K computer*” первым в мире преодолел рубеж в 10 квадриллионов операций с плавающей точкой в секунду и достиг реальной производительности **10.51 PFLOPS**, которая оказалась весьма близка к пиковому значению (**11.28 PFLOPS**), что свидетельствует о крайне высокой вычислительной эффективности – **93.2%**. По этому показателю “*K computer*” занимает 3-е место в *Top500* и 1-е место в его первой десятке.

При этом по энергоэффективности система с показателем **830.18 MFLOPS/W** может претендовать лишь на 80-е место; впрочем, и в предыдущем списке её место тоже не было высоким (57-е).

Напомним, что практически сразу после запуска “*K computer*”, в котором объединено **88 128** восьмиядерных процессоров *SPARC64 VIIIfx* (всего **705 024** ядра), было объявлено о предложении компанией *Fujitsu* масштабируемого суперкомпьютера *PRIMEHPC FX10* с пиковой производительностью от **90.8 TFLOPS** до **23.2 PFLOPS**. Увеличение быстродействия достигается за счет применения новых 16-ядерных процессоров *SPARC64 IXfx*. Несмотря на планы *Fujitsu* поставить за три года (один уже прошел) порядка 50-ти таких систем, в нынешнем списке *Top500* их появилось только три, причем лишь одна из них обладает петафлопсной производительностью (**1.043 PFLOPS**, вычислительная эффективность – **91.9%**) и занимает достаточно высокое 21-е место. Надо отметить, энергоэффективность системы на новом процессоре возросла незначительно – до **886.3 MFLOPS/W**, что обеспечило ей только 52-е место по этому показателю.

Таким образом, компании *Fujitsu* не удалось реально поспорить за первенство на рубеже пиковой производительности в **20 PFLOPS** с обошедшими её конкурентами.

❹ С третьего на четвертое место переместился суперкомпьютер *Mira* компании *IBM*, построенный для Аргонской национальной лаборатории (*Argonne National Laboratory*). Эта система по существу является уменьшенным “клоном” *Sequoia*: базируется на той архитектуре, тех же процессорах, обладает в точности той же вычислительной и энергоэффективностью, что и серебряный призер. Отличается лишь общее число ядер – **786 432** и, соответственно, реальное быстродействие – **8.153 PFLOPS**.

Табл. 1. Количество и суммарная производительность систем по различным направлениям в 1-м и 40-м списках рейтинга Top500

Отрасли и классы решаемых задач	1-й список		40-й список		1-й список		40-й список	
	Системы		Суммарная производительность					
	Кол-во	Доля (%)	Кол-во	Доля (%)	GFLOPS	Доля (%)	GFLOPS	Доля (%)
Исследования (без уточнения специфики)	137	27.4%	88	17.6%	251	22.3%	41 933 230	25.9%
Метеорология и климатические исследования	26	5.2%	12	2.4%	86	7.6%	3 953 164	2.4%
Оборона	12	2.4%	11	2.2%	12	1.1%	2 984 290	1.8%
Энергетика	22	4.4%	12	2.4%	74	6.6%	2 888 930	1.8%
Аэрокосмическая отрасль	43	8.6%	5	1.0%	86	7.6%	1 763 317	1.1%
Геофизика	30	6.0%	14	2.8%	44	3.9%	1 225 886	0.8%
Исследования окружающей среды	1	0.2%	3	0.6%	5	0.4%	731 050	0.5%
Финансы	1	0.2%	5	1.0%	1	0.1%	492 494	0.3%
Автомобильная промышленность	27	5.4%	2	0.4%	34	3.0%	177 240	0.1%
Услуги по обработке информации	1	0.2%	1	0.2%	1	0.1%	91 290	0.1%
Телекоммуникации	1	0.2%	1	0.2%	0	0.0%	87 365	0.1%
Web-сервисы			15	3.0%			1 330 897	0.8%
Сравнительное тестирование			6	1.2%			1 000 354	0.6%
Полупроводниковая промышленность			1	0.2%			379 306	0.2%
Информационные услуги			2	0.4%			192 696	0.1%
Разработка программного обеспечения			1	0.2%			172 691	0.1%
ИТ-сервисы			2	0.4%			157 108	0.1%
Интернет-провайдеры			1	0.2%			97 959	0.1%
Науки о жизни			1	0.2%			97 071	0.1%
Сфера развлечений			1	0.2%			94 314	0.1%
Облачные сервисы			1	0.2%			89 940	0.1%
Услуги (без уточнения специфики)			1	0.2%			89 369	0.1%
Электроника	16	3.2%			17	1.5%		
Химия	9	1.8%			9	0.8%		
Тяжелая промышленность	9	1.8%			9	0.8%		
Строительство	3	0.6%			5	0.4%		
Биохимия	1	0.2%			3	0.3%		
Базы данных	1	0.2%			3	0.3%		
Консалтинг	1	0.2%			2	0.2%		
Фармация	2	0.4%			1	0.1%		
Сфера применения неизвестна	157	31.4%	314	62.8%	485	43.0%	101 943 525	62.9%
Итого:	500	100.0%	500	100.0%	1 128	100.0%	161 973 486	100.0%

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

5 С восьмого на пятое место поднялся супервычислитель **JuQUEEN**, собранный в 2012 году в Исследовательском центре Юлих (*Forschungszentrum Juelich*) в Германии. Реальное быстродействие системы в результате проведенного за полгода апгрейда увеличилось до **4.141 PFLOPS**, а пиковая производительность – до **5.033 PFLOPS**. Таким образом, **JuQUEEN** стал самым мощным европейским суперкомпьютером в юбилейном списке, отобрав этот титул у **SuperMUC**, находящегося теперь на 6-м месте. Поскольку **JuQUEEN** имеет ту же архитектуру и построен на тех же процессорах, что и **Sequoia**, скорее всего, его тоже можно считать уменьшенным “клоном” с числом ядер 393 216. Незначительные отличия вычислительной (82.3%) и энергоэффективности (2102.12 MFLOPS/W), по всей видимости, объясняются отличиями в “генах”, ответственных за географическое местоположение суперкомпьютера. ☺

6 С четвертого на шестое место в топе опустился еще один европейский суперкомпьютер – **SuperMUC**, инсталлированный в Суперкомпьютерном центре им. Лейбница (*Leibniz Supercomputing Centre*) в Гархинге (федеральная земля Бавария, ФРГ). Система, созданная компанией **IBM**, имеет архитектуру **iDataPlex DX360M4** на базе восьмиядерных процессоров **Intel Xeon E5-2680** с тактовой частотой **2.7 GHz**. Общее число ядер – 147 456, реальное быстродействие – **2.897 PFLOPS**, пиковая производительность – **3.185 PFLOPS**, вычислительная эффективность – 91%.

7 Седьмое место в юбилейном рейтинге занял построенный в 2012 году компанией **Dell**

для Техасского центра передовых технологий (*Texas Advanced Computing Center*) гибридный суперкомпьютер **Stampede** с архитектурой **PowerEdge C8220**. Он базируется на восьмиядерных процессорах **Intel Xeon E5-2680** с тактовой частотой **2.7 GHz** и сопроцессорах **Intel Xeon Phi**. Быстродействие первой очереди системы пока достигло **2.66 PFLOPS** и пиковой производительности **3.956 PFLOPS** (вычислительная эффективность – 54.6%). Общее число ядер составляет 204 900, из них 112 500 – сопроцессорные. Предполагается, что в дальнейшем быстродействие системы достигнет **10 PFLOPS**.

8 С пятого на восьмое место сполз китайский суперкомпьютер **Tianhe-1A**, некогда возглавлявший 36-й список. Этот агрегат является собственной китайской разработкой Национального университета оборонных технологий (*National University of Defense Technology – NUDT*). Система инсталлирована в Национальном суперкомпьютерном центре (*National Supercomputing Center*) в гор. Тяньцзинь.

Супервычислитель является гибридным, в нём сочетаются шестиядерные процессоры **Intel Xeon X5670** и графические процессоры **NVIDIA 2050**. Реальное быстродействие достигает **2.566 PFLOPS**, а пиковая производительность – **4.701 PFLOPS** (вычислительная эффективность – 54.6%). Общее число ядер составляет 204 900, в том числе 112 500 ядер графических процессоров.

9 С седьмого места на девятое спустился суперкомпьютер **Fermi**, построенный компанией **IBM** в 2012 году для консорциума

Implementation segments of supercomputers:
amount of systems, listed in Top500
(1993 and 2010÷2012, 1st and 36th÷40th lists)

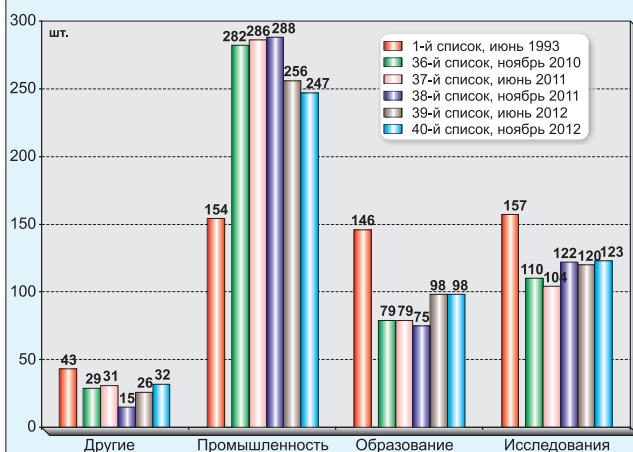


Рис. 2. Области применения суперкомпьютеров: количество систем, включенных в Top500 (1993 и 2010–2012 гг., списки 1 и 36÷40)

Implementation segments of supercomputers:
total performance of systems, listed in Top500
(2010÷2012, 36th÷40th lists)

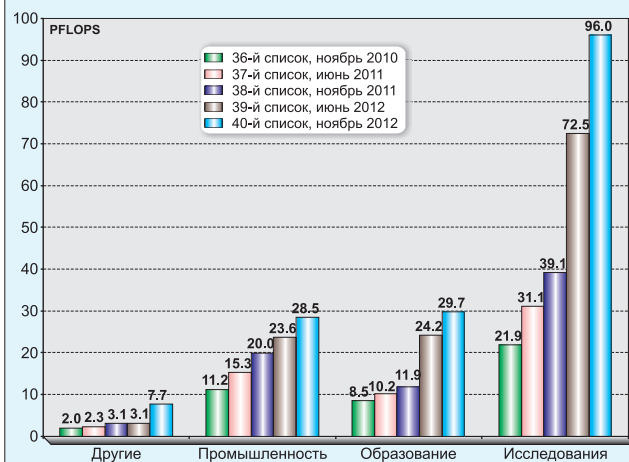


Рис. 3. Области применения суперкомпьютеров: суммарная производительность систем, включенных в Top500 (2010–2012 гг., списки 36÷40)

Shares of total performance, which correspond to implementation segments of supercomputers, listed in Top500: 1993, 1st list (left) and 2012, 40th list (right)

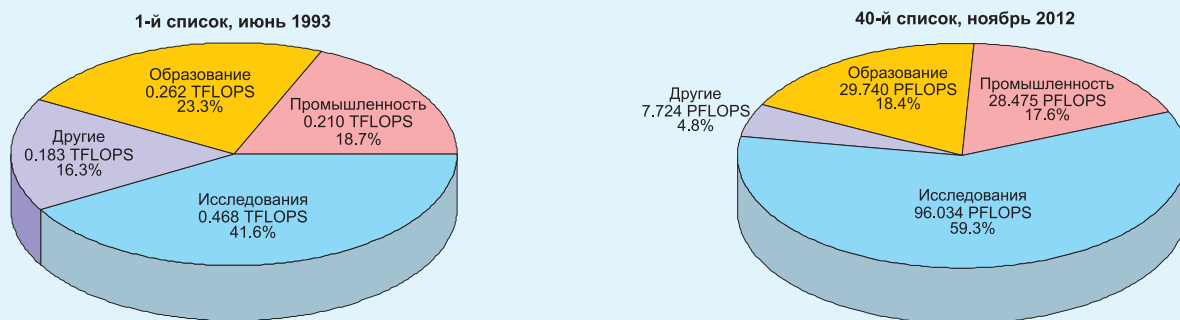


Рис. 4. Распределение суммарной производительности по областям применения суперкомпьютеров в 1993 г. (список 1) и в 2012 г. (список 40)

CINECA, куда входит порядка 50-ти итальянских университетов. Реальное быстродействие системы составляет **1.725 PFLOPS**, пиковое – **2.097 PFLOPS**, вычислительная эффективность – **82.3%**, энергоэффективность – **2099.45 MFLOPS/W**. По всей видимости, это еще один европейский “саженец Секвойи” с числом ядер 163 840.

Замыкает “горячую” десятку экспериментальный суперкомпьютер **DARPA Trial Subset**, построенный компанией IBM на базе архитектуры Power 775. Используются восьми-ядерные процессоры айбизмовского производства POWER7 с тактовой частотой 3.836 GHz, общее число ядер в системе – 63 360. Достигнутое реальное быстродействие системы – **1.515 PFLOPS**, пиковое – **1.944 PFLOPS**, вычислительная эффективность – **77.9%**, энергоэффективность – **423.7 MFLOPS/W**.

В 2012 году в обоих списках рейтинга рекордсменом первой десятки является компания IBM: в 39-м и в юбилейном списках в первую десятку входят соответственно пять и шесть айбизмовских суперкомпьютеров с общей производительностью 30.49 и 34.766 PFLOPS.

Области применения систем ВПВ

Наибольшее количество суперкомпьютеров из Top500 работает в промышленности (industry): в юбилейном 40-м списке таких 247. Для научных исследований (research) применяются 123 системы, а в образовании (academic) – 98 (рис. 2). По сравнению с 38-м списком, в сфере научных исследований радикальных изменений не произошло – год назад там были задействованы 122 системы. Значительные изменения произошли в промышленности, где число систем за год уменьшилось с 288-ми до 247-ми. В сфере образования, наоборот, их число выросло с 75-ти до 98-ми.

По суммарной производительности впереди идут системы для науки – 96.0 PFLOPS. На

образование работает совокупная вычислительная мощность 29.7 PFLOPS, а на промышленность – 28.5 PFLOPS (рис. 3). Таким образом, за год произошел значительный прирост суммарной производительности: в 38-м списке соответствующие показатели были гораздо более скромными: 39.1, 11.9 и 20.0 PFLOPS. Следует также отметить, что в 39-м и 40-м списках сфера образования обошла промышленность по этому важному параметру. При этом сфера исследований в списках 2012 года обгоняет образование и промышленность в 3÷3.4 раза. Это свидетельствует, что опережающими темпами развивается сектор, обеспечивающий перспективное развитие всех отраслей, где будут востребованы суперкомпьютеры.

В группу “другие” на рис. 2÷4 объединены области применения, которые не столь велики – как по числу инсталляций, так и по суммарной производительности. Туда попадают

Implementation segments of supercomputers, listed in Russian Top50 (2010÷2012, 13th÷17th lists)

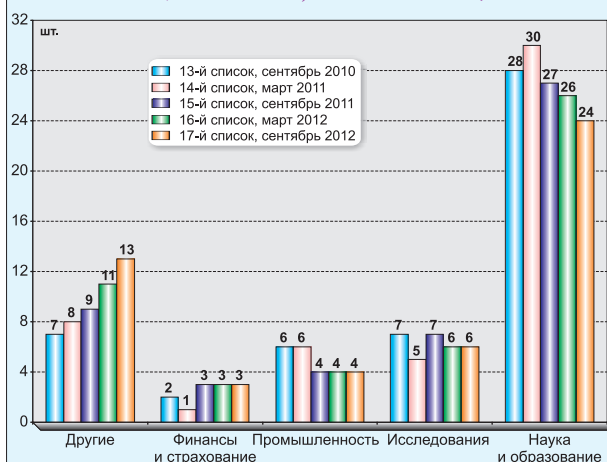


Рис. 5. Области применения суперкомпьютеров, включенных в российский Top50 (2010–2012 гг., списки 13÷17)

Amount of supercomputers, listed in Top500 (1993 and 2010÷2012, 1st and 36th÷40th lists), in developed and emerging regions

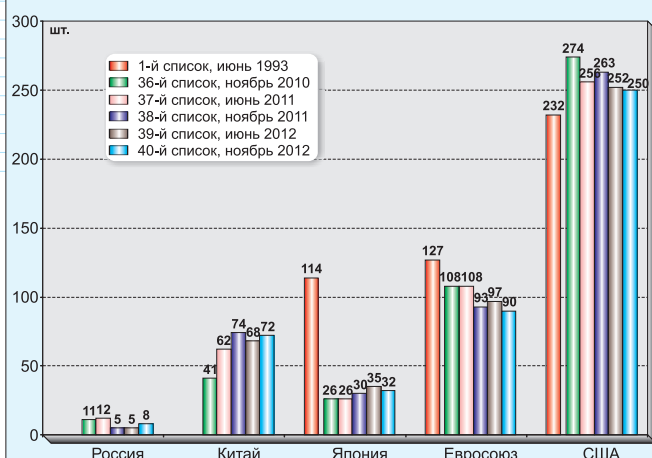


Рис. 6. Количество суперкомпьютеров из Top500 в развитых и развивающихся регионах мира (1993 и 2010–2012 гг., списки 1 и 36÷40)

Total performance of supercomputers, listed in Top500 (2010÷2012, 36th÷40th lists), in developed and emerging regions

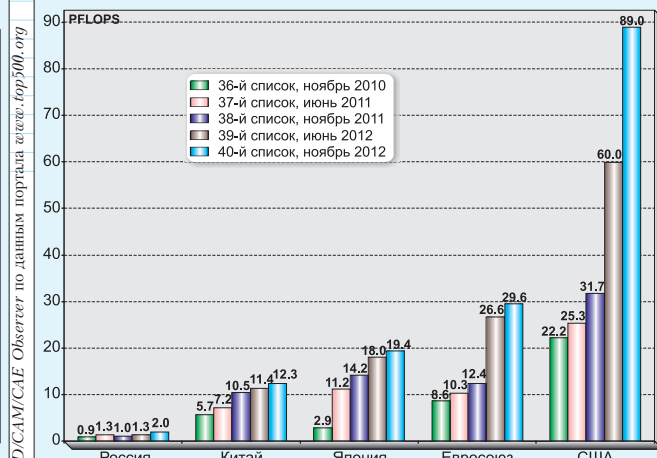


Рис. 7. Суммарная производительность суперкомпьютеров из Top500 в развитых и развивающихся регионах мира (2010–2012 гг., списки 36÷40)

суперкомпьютеры, являющиеся объектом экспериментов, которые проводятся их разработчиками (*vendor*); системы, применяемые для решения задач распознавания и классификации (*classified*), а также для задач государственного управления (*government*).

Данные, приведенные на рис. 2 и рис. 4 для самого первого и для юбилейного 40-го списков Top500, позволяют сравнить число суперкомпьютеров, а также их суммарную производительность для сфер исследований, образования и промышленности 20 лет назад и в настоящее время. В июне 1993 года для нужд научных исследований, образования и промышленности

было задействовано соответственно 41.6%, 23.3% и 18.7% суммарной производительности систем из списка Top500 (рис. 4, слева), а в ноябре 2012 года соответствующие показатели были следующими: 59.3%, 18.4% и 17.6% (рис. 4, справа).

Более подробную информацию о сферах применения суперкомпьютеров можно получить с помощью табл. 1, сопоставив перечень направлений науки, техники и технологий, а также классы задач, для решения которых применялись суперкомпьютеры в 1993 и 2012 годах (напомним, что в данных рейтинга Top500 для довольно значительного количества

Shares of amount (left) and total performance (right) of supercomputers, listed in Top500 (2008÷2012, 31th÷40th list), in developed and emerging regions

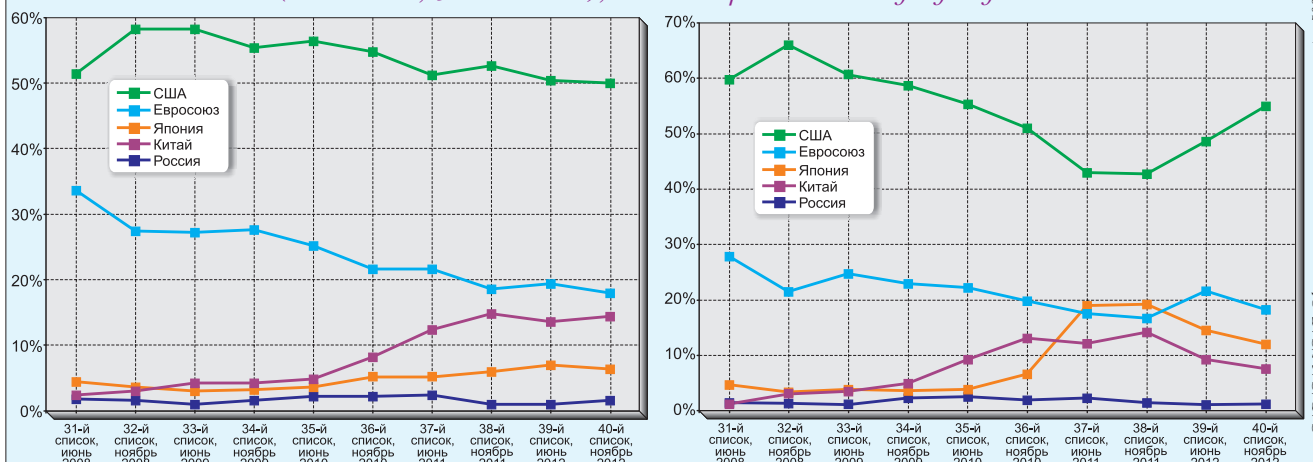


Рис. 8. Динамика изменения региональной доли от общего количества (слева) и суммарного быстродействия (справа) суперкомпьютеров за период 2008–2012 гг. (Top500, списки 31÷40)

суперкомпьютеров конкретная сфера применения не указывается – *not specified*). В верхней части таблицы уже 20 лет продолжают оставаться “исследования” (без уточнения предметной области), а также “метеорология и климатические исследования” (кстати сказать, качество прогнозов погоды за эти годы заметно повысилось).

Согласно данным российского рейтинга Top50 (рис. 5), в сентябре 2012 г. в сфере научных исследований было задействовано шесть систем, сегмент работающих на промышленность суперкомпьютеров состоял из четырех систем, а в области финансов и страхования трудились три системы. Почти половина супервычислителей (24) занята в сфере российского высшего образования. За период с сентября 2011 года радикальных изменений не произошло – тогда цифры были такими: 7, 4, 3 и 27 систем.

Региональный срез рейтинга Top500

Наша региональная “табель о рангах” позволяет препарировать состояние дел в США, Японии, Евросоюзе, Китае и России. Данные за два последних года (списки 36÷40 рейтинга

Top500) отображают диаграммы на рис. 6÷7. Тенденции, иллюстрирующие развитие за последние пять лет регионов, построивших супервычислители петафлопсного класса, а также имеющие амбиции достижения эксафлопсного рубежа, можно проследить на рис. 8. Кроме того, на рис. 9÷10 сопоставляются достижения регионов, зафиксированные в самом первом и в юбилейном списках Top500.

✓ США

По данным на ноябрь 2012 года, в США инсталлировано 250 суперкомпьютеров уровня Top500 – ровно половина от всех, которые набрали проходной балл в этот рейтинг. За период составления наших обзоров (2005–2012 гг.) доля США неизменно превышала половину. В 1-й список, составленный в июне 1993 года, попало 232 американских суперкомпьютера (46.4%).

В ноябре 2012 года суммарная производительность упомянутых 250-ти систем достигла 89.0 PFLOPS. За год это показатель вырос в 2.8 раза – с 31.7 PFLOPS. Такой скачок стал возможен благодаря запуску в эксплуатацию запланированных рекордных

Shares of amount of installed in developed and emerging regions supercomputers, listed in Top500 – 1993, 1st list (left), 2012, 40th list (right)

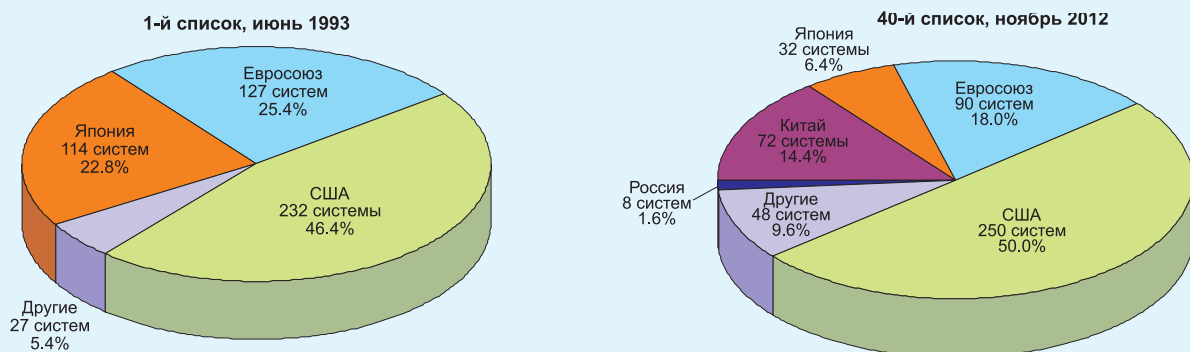


Рис. 9. Региональное распределение суперкомпьютеров в 1993 г. (список 1) и в 2012 г. (список 40)

Shares of total performance of installed in developed and emerging regions supercomputers, listed in Top500 – 1993, 1st list (left), 2012, 40th list (right)

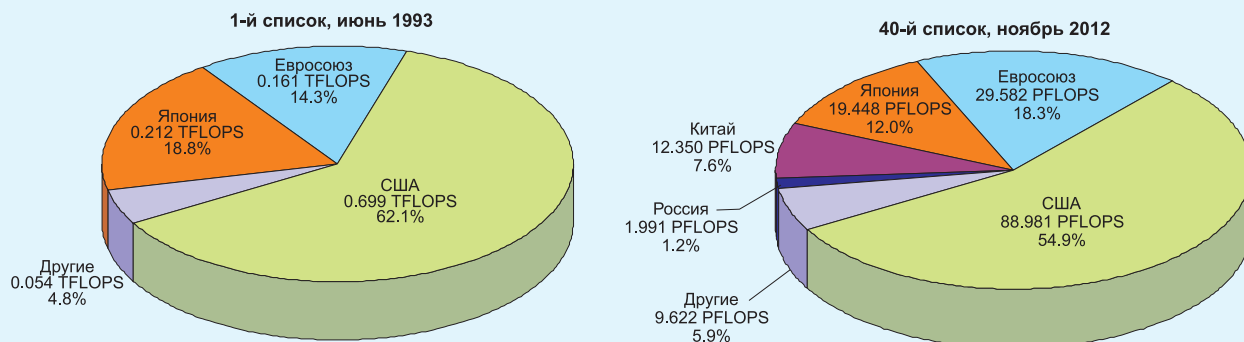


Рис. 10. Региональное распределение суммарной производительности суперкомпьютеров в 1993 г. (список 1) и в 2012 г. (список 40)

супервычислителей. Доля США в общей производительности *Top500* снова превысила половину (54.9%), как это и было до 36-го списка включительно. В 1-м списке суммарная мощность американских суперкомпьютеров составляла 62.1%.

✓ Евросоюз

Число систем из стран ЕС в 40-м списке *Top500* составило 90 (18%). Год назад доля ЕС была 18.6% (93 системы). В 1-м списке на долю ЕС приходилось 25.4% или 127 систем.

Суммарная производительность 90 систем достигла величины 29.6 *PFLOPS* (18.3% от общего значения для *Top500*) и позволила ЕС, как и полгода назад, занять по этому показателю 2-е место (которое в июне 2011 года ЕС уступил Японии, когда *Top500* возглавил “*K computer*”). Годовой рост суммарной производительности в ЕС составил 2.4 раза – в ноябре 2011 года этот показатель был равен 12.4 *PFLOPS* (16.7% от общего значения для *Top500*). В 1-м списке суммарная мощность европейских суперкомпьютеров составляла 14.3%.

Три первых места в ЕС стабильно занимают Германия (10.2 *PFLOPS*, 19 систем), Великобритания (7.3 *PFLOPS*, 24 системы) и Франция (6.4 *PFLOPS*, 21 система). На долю этих трех стран приходится 71.1% суперкомпьютеров из *Top500* на территории ЕС и 80.6% их суммарной производительности.

Отметим, что в юбилейный список *Top500* попали супервычислители только 12-ти стран ЕС из 27-ми.

✓ Япония

В ноябре 2012 года по величине суммарной производительности Япония опустилась на третью позицию – 19.5 *PFLOPS* (12.0% от общей). Год назад, благодаря тогдашнему рекордсмену “*K computer*”, она находилась на 2-й позиции (как оказалось, временно отвоєванной у Евросоюза) с показателем 14.2 *PFLOPS* (19.2% от общей). Отметим, что 20 лет назад, в июне 1993 года, суммарная мощность японских супервычислителей из 1-го списка (18.8%) была выше, чем у европейских.

Число установленных в Стране Восходящего Солнца систем за год увеличилось с 30-ти до 32-х (с 6% до 6.4%), а суммарная производительность возросла всего в 1.37 раза, что значительно меньше годового темпа роста всего *Top500* в целом – 2.19 раза. Число систем, заявленных в 1-й список рейтинга, было 114 (22.7%).

✓ Китай

За прошедший год доля Китая практически не изменилась: 14.8% (74 системы) в

38-м списке и 14.4% (72 системы) – в юбилейном 40-м.

Суммарная производительность топовых китайских систем (она соответствует 4-й позиции в 40-м списке) за год выросла всего в 1.18 раза: с 10.5 *PFLOPS* в 38-м списке до 12.4 *PFLOPS* в 40-м списке. При этом доля КНР с двухзначной (14.2%) снова стала однозначной – 7.6% от общего значения для *Top500*.

Впервые китайский суперкомпьютер был включен в 5-й список рейтинга *Top500* в июне 1995 года.

✓ Россия

Россия в юбилейном 40-м списке *Top500* представлена восемью системами (1.6% от общего числа в *Top500*) с суммарной производительностью 1.991 *PFLOPS* (1.2% от общего значения).

Принимая во внимание данные российского Топ50, можно подсчитать, что в ноябре 2012 года суммарная мощность российских суперкомпьютеров из *Top500* составила 77.5% от суммарной производительности всех систем, включенных в сентябре 2012 года в 17-й список Топ50 (рис. 11). Напомним, что год назад Российская Федерация была представлена в 38-м списке пятью системами (1% от общего числа) с суммарной производительностью 1.043 *PFLOPS* (3.3% от общей), что составляет 54.9% от суммарной производительности всех систем, включенных в сентябре 2011 года в 15-й список Топ50.

По состоянию на ноябрь 2012 года, российский лидер ВПВ, суперкомпьютер “Ломоносов”

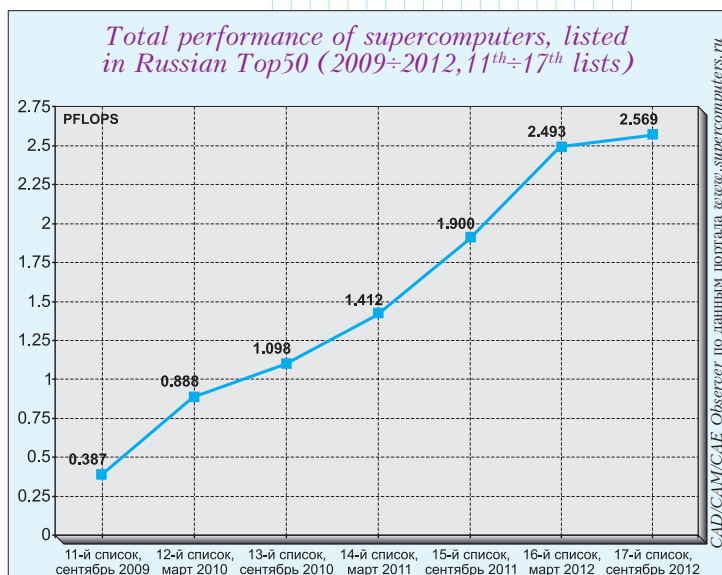


Рис. 11. Динамика роста суммарной производительности суперкомпьютеров, включенных в российский Топ50, за период 2009–2012 гг. (списки 11–17)

с реальным быстродействием 901.9 *TFLOPS* занимает **26-е место** в мире и в 19.5 раза уступает по производительности лидеру – крайевому суперкомпьютеру *Titan*.

Успехом можно считать достаточно высокое 30-е место по энергоэффективности (1687.02 *MFLOPS/W*) для суперкомпьютера МВС-10П на базе архитектуры “РСК Торнадо” с сопроцессорами *Intel Xeon Phi* и жидкостным охлаждением от группы российских компаний РСК. Он является прототипом перспективного суперкомпьютера с быстродействием 10 *PFLOPS* для Межведомственного суперкомпьютерного центра Российской Академии наук (МЦ РАН), и на сегодняшний момент демонстрирует реальное быстродействие 0.376 *PFLOPS*.

В 1-м списке рейтинга *Top500* российские системы отсутствовали. Впервые суперкомпьютер, построенный на территории РФ (для *National Reserve Bank* в Москве, как указано в архивах *Top500*), был заявлен только в июне 1997 года и занял 155-е место в 9-м списке. Этот агрегат под названием *HPC 10000* от компании *Sun Microsystems* был собран на базе 48-ми процессоров *UltraSPARC I* и имел быстродействие 16.6 *GFLOPS*.

Ведущие производители суперкомпьютеров

Показатели ведущих производителей суперкомпьютеров в рейтинге *Top500* представлены на рис. 12. Все компании отранжированы в соответствии с суммарной производительностью систем, набравших проходной балл в *Top500*, в случае, если этот показатель превышает петафлопс. Исключение сделано для российской компании “Т-Платформы”, построившей суперкомпьютер “Ломоносов”, относящийся к петафлопсному классу по пиковой производительности.

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

1) производители суперкомпьютеров, входящих в первую десятку *Top500*, – *Cray*, *IBM*, *Fujitsu*, *Dell*, *National University of Defense Technology (NUDT)*;

2) участники мирового рынка *HPC*-систем – *Hewlett-Packard*, *Oracle (Sun)*, *Bull*, *NEC*, *SGI*;

3) участники региональных рынков *HPC*-систем – *Appro*, *Dawning*, *National Research Center of Parallel Computer Engineering & Technology (NRCPCET)*, “Т-Платформы”.

По количеству установленных суперкомпьютеров лидером трех последних списков (ноябрь 2011 г., июнь и ноябрь 2012 г.) является корпорация *IBM*, построившая 223, 213 и 193 системы из пятисот соответственно. Показатели *Hewlett-Packard* скромнее – 141, 139 и 146 систем (рис. 12, сверху). На порядок меньшим числом установленных систем могут

Amount (above) and total performance (below) of supercomputers, listed in *Top500* (2011÷2012, 38th÷40th lists), grouped according to systems vendors

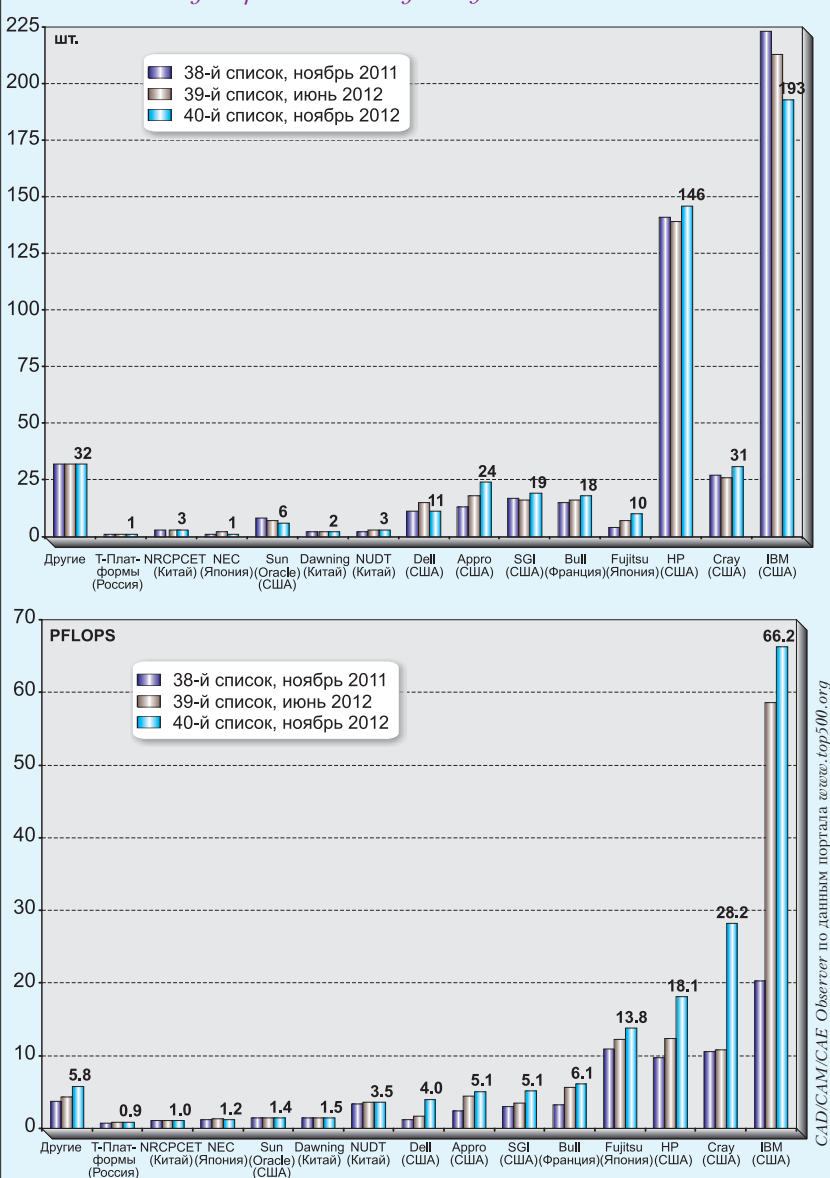


Рис. 12. Количество (сверху) и суммарное быстродействие (снизу) суперкомпьютеров в *Top500* (2011–2012 гг., списки 38÷40), созданных различными производителями

похвастаться компании *Cray*, *Appro*, *SGI*, *Bull*, *Dell* и *Fujitsu* – в ноябре 2012 года их было 31, 24, 19, 18, 11 и 10 соответственно.

Бесспорным лидером *Top500* в аспекте суммарной производительности установленных систем является *IBM* (рис. 12, снизу). В ноябре 2011 года, в июне и ноябре 2012 года этот важнейший показатель имел значения 20.2, 58.6 и 66.2 *PFLOPS* соответственно.

На вторую позицию по суммарной производительности в ноябре 2012 года вышли суперкомпьютеры *Cray* – 28.2 *PFLOPS*.

Третью позицию теперь занимают системы от *Hewlett-Packard* – 18.1 *PFLOPS*.

На четвертом месте находятся системы от *Fujitsu* – 13.8 *PFLOPS*. Пятую позицию занимает европейская компания *Bull* – 6.1 *PFLOPS*.

Как уже упоминалось выше, компания *Cray* недавно приобрела *Appro*. Поэтому уже в следующем, 41-м списке *Top500*, будут приведены их суммарные показатели. Эта сделка, несомненно, укрепит позиции *Cray*. Чтобы убедиться в этом, достаточно взглянуть на суммарные показатели компаний уже в текущем, 40-м списке: число систем – 55 (31 от *Cray* и 24 от *Appro*), суммарное быстроедействие – 33.3 *PFLOPS* (28.2 у *Cray* и 5.1 у *Appro*).

Что касается российской компании “Т-Платформы”, то успешно конкурировать с зарубежными производителями ей пока удастся только на российском рынке. Так, в сентябре 2012 года, по данным 17-го списка российского Топ50 (рис. 13), компания “Т-Платформы” (1.0867 *PFLOPS* у 9-ти систем) заметно опережает и *Hewlett-Packard* (0.63 *PFLOPS* у 16-ти систем), и *IBM* (0.53 *PFLOPS* у 18-ти систем) по суммарной производительности. В то же время она значительно отстает по числу систем, набравших проходной балл в Топ50.

В мировом рейтинге *Top500* позиция компании “Т-Платформы” не изменилась (рис. 12), однако отрыв от реальных конкурентов существенно увеличился.

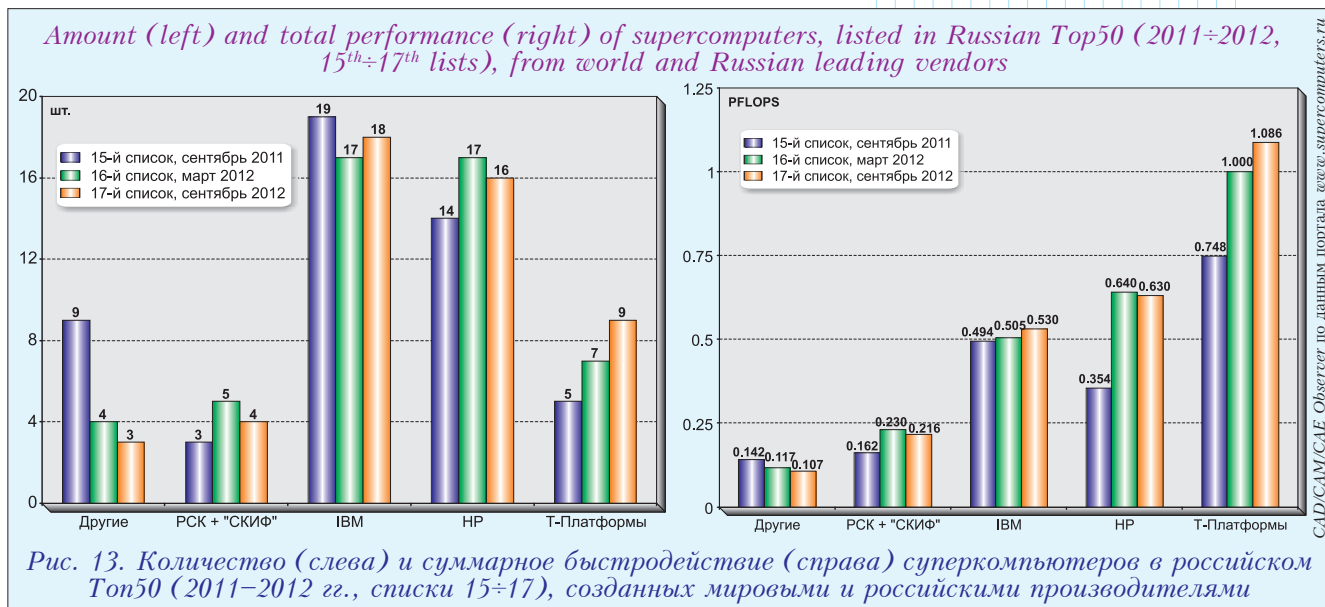
Число процессорных ядер в суперкомпьютерах

Статистика использования многоядерных процессоров для построения суперкомпьютеров, входящих в *Top500*, показана на рис. 14.

В юбилейном 40-м списке наиболее популярными остаются 6-ядерные процессоры – на их базе построены 193 системы. Впервые такие процессоры вышли в лидеры год назад, в ноябре 2011 года: в 38-м списке на них основывались 229 систем.

Число систем на базе 4-ядерных процессоров, пик популярности которых пришелся на 34-й список (426 систем), за год сократилось до 69-ти. В ноябре 2012 года 4-ядерные процессоры по числу построенных систем пропустили вперед 8-ядерные процессоры, применение которых расширилось – до 159-ти систем.

Набирает обороты использование 16-ядерных процессоров – в юбилейном 40-м списке они стали базой уже для 47-ми супервычислителей. Как уже отмечалось выше, лидеры текущего и предыдущего списков, *Titan* и *Sequoia*, а также масштабируемые суперкомпьютеры *PRIMEHPC FX10* построены на 16-ядерных процессорах от *AMD*, *IBM* и *Fujitsu* соответственно. Напомним также, что собственным 16-ядерным процессором *ShenWei SW1600* располагает и Китай, который год назад в 38-м списке представил петафлопсный суперкомпьютер “*Sunway BlueLight*”. Любопытно, что в *Top500* пока никак не проявила себя компания *Oracle*, уже с сентября 2010 года обладающая 16-ядерным серверным процессором *SPARC T3*.



Amount of supercomputers, listed in Top500 (2010÷2012, 36th÷40th lists), based on multicore processors

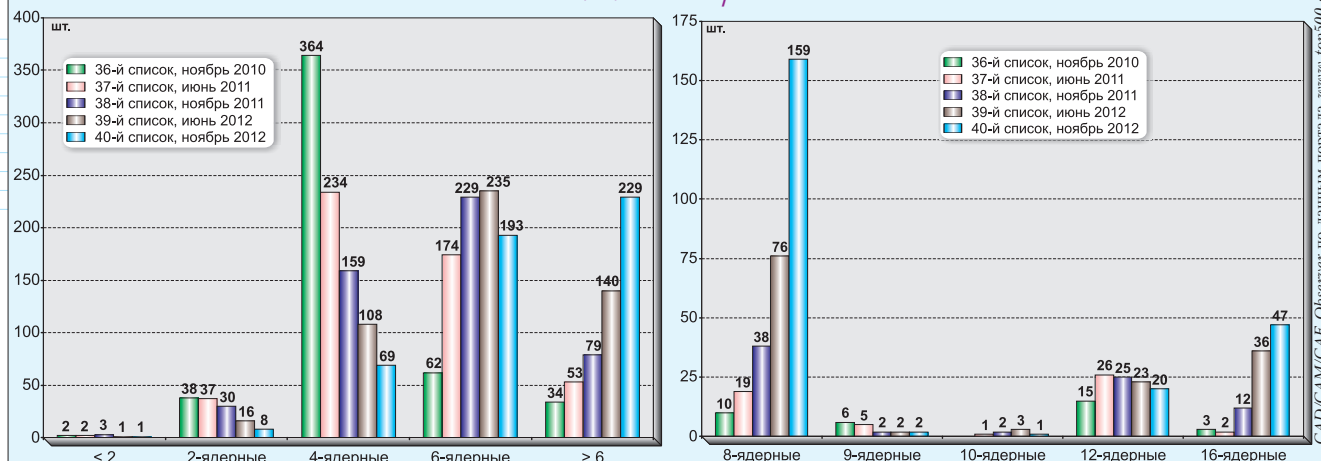


Рис. 14. Количество суперкомпьютеров в Top500 (2010–2012 гг., списки 36÷40), построенных на базе многоядерных процессоров

Судя по невысоким (207-я и 459-я) позициям в Top500 двух систем, появившихся в 36-м и 37-м списках, Oracle решила не следовать амбициями поглощенной в 2009 году компании Sun в сегменте суперкомпьютеров с экстремальной производительностью рынка HPC.

В текущем 40-м списке самое популярное число ядер в одной системе – от 8k до 16k, где $k=1024$. Таких систем оказалось 206. Однако пик их популярности пришелся на 38-й список – 300 (рис. 15).

В грядущих списках Top500 в 2013 году наиболее популярными станут системы с числом ядер от 16k до 32k, ну а пока их насчитывается 148 (рис. 16). Всего же систем с числом ядер

свыше 16k уже стало 210 – то есть, больше 40%.

Суперкомпьютеры с рекордными характеристиками имеют значительно большее число ядер, которое превышает 128k (рис. 16). За два года количество таких систем возросло с 8-ми до 15-ти. Рекордсменом в этой номинации является Sequoia, лидер предыдущего 39-го списка Top500: общее число ядер – 1 572 864 (1536k). Далее следует Mira – 786 432 ядра (768k), а за ней пристроился лидер списков 2011 года “K computer” – 705 024 ядра (669k). Отметим, что эти три системы не относятся к классу гибридных. По всей видимости, для супервычислителей с числом ядер более 128k уже

Amount of supercomputers, listed in Top500 (2010÷2012, 36th÷40th lists), based on definite number of processor cores

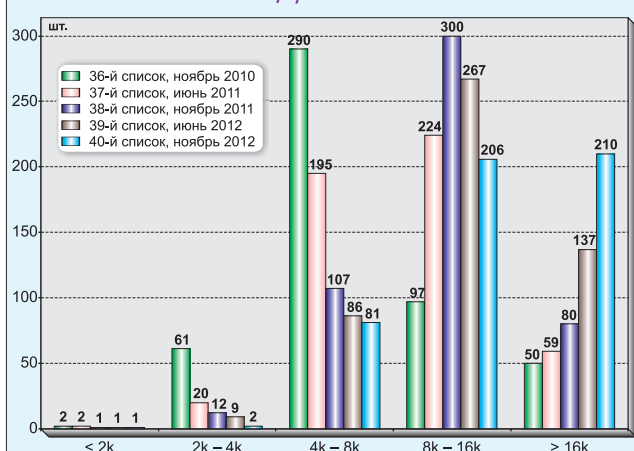


Рис. 15. Количественное распределение суперкомпьютеров в Top500 (2010–2012 гг., списки 36÷40) в зависимости от числа процессорных ядер

Amount of supercomputers, listed in Top500 (2010÷2012, 36th÷40th lists), based on extreme number of processor cores

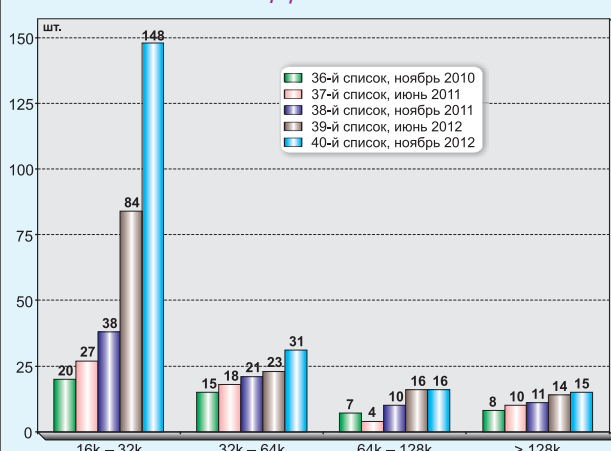


Рис. 16. Количество суперкомпьютеров в Top500 (2010–2012 гг., списки 36÷40) с экстремальным числом процессорных ядер

Amount of supercomputers, listed in Russian Top50 (2011÷2012, 15th÷17th lists), based on definite number of processor cores

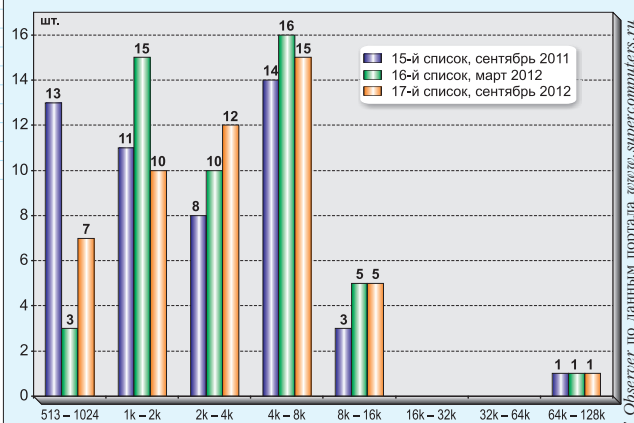


Рис. 17. Количественное распределение суперкомпьютеров из российского Top50 (2011–2012 гг., списки 15–17) в зависимости от числа процессорных ядер

пора пользоваться более “тонкой структурой спектра”.

Для супервычислителей из российского Top50 этот показатель пока значительно скромнее (рис. 17). В 17-м списке, опубликованном в сентябре 2012 года, всего шесть систем из 50-ти имеют больше 8k процессорных ядер. Как и год назад, числом ядер свыше 16k может похвастаться только лидер списка – супервычислитель “Ломоносов”: с учетом графических процессоров (система имеет гибридную архитектуру), общее количество ядер после

Amount of supercomputers, listed in Top500 (2011÷2012, 38th÷40th lists), with hybrid architecture based on definite number of graphic (GPU) processor cores

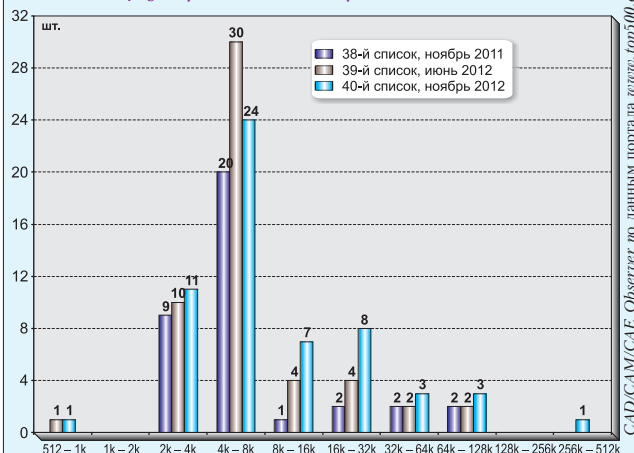


Рис. 18. Количественное распределение входящих в Top500 суперкомпьютеров с гибридной архитектурой, в зависимости от числа ядер в графических процессорах (2011–2012 гг., списки 38–40)

очередного апгрейда повысилась до 78 660-ти (чуть меньше 77k).

Суперкомпьютеры с гибридной архитектурой

В юбилейном 40-м списке *Top500* доля систем с гибридной архитектурой превысила одну десятую – 11.6% (58 систем). Диаграммы на рис. 18 позволяют сопоставить число гибридных супервычислителей, обладающих различным суммарным количеством ядер графических процессоров или сопроцессоров, используемых для ускорения вычислений.

Как уже отмечалось выше, в первой десятке *Top500* сейчас представлены три гибридные системы: *Titan* (1-е место), *Stampede* (7-е место) и *Tianhe-1A* (8-е место).

В ноябре 2012 года среди гибридных систем наиболее популярной является комбинация “*Intel+NVIDIA GPU*”. Всего в *Top500* таких систем – 47, а год назад их было заметно меньше – 33 (рис. 19, слева). На второе место вышло сочетание “*Intel+Xeon Phi*” – 7 суперкомпьютеров.

По суммарной производительности, несмотря на свою малочисленность (всего три системы), среди гибридных суперкомпьютеров лидирует комбинация “*AMD+NVIDIA GPU*” – 18.0 *PFLOPS* (рис. 19, справа), охватывающая и рекордсмена. Сочетание “*Intel+NVIDIA GPU*” находится только на втором месте – 13.0 *PFLOPS*.

В сентябре 2012 года в 17-м списке российского Top50 гибридную архитектуру имеют 15 систем из 50-ти (рис. 20), что в два раза больше, чем год назад (7 систем). Во всех системах используется наиболее популярная комбинация “*Intel+NVIDIA GPU*”.

При строительстве гибридных суперкомпьютеров в ближайшее время будут конкурировать тенденции применения графических процессоров от *NVIDIA* и сопроцессоров *Intel Xeon Phi*; последние пока обладают определенным преимуществом по энергоэффективности.

Ведущие производители процессоров для суперкомпьютеров

Поставщиком процессоров для подавляющего большинства суперкомпьютеров, входящих в *Top500*, является компания *Intel* (рис. 19, слева). В ноябре 2011 года, июне и ноябре 2012 года количество систем на базе интеловских процессоров составляло 383, 373 и 379 соответственно (в том числе, гибридных систем – 33, 52, 54).

На втором месте идет компания *AMD* – 63, 62 и 61 система (в том числе гибридных систем – 4, 4, 5) соответственно.

Третье место занимает *IBM* – 49, 58 и 53 системы (надо отметить, что гибридные системы от *IBM* – соответственно 2, 2 и 2 – учитываются в подсчетах для компании *AMD*).

Amount (left) and total performance (right) of supercomputers, listed in Top500 (2010÷2012, 36th÷40th lists), grouped according to processor vendors

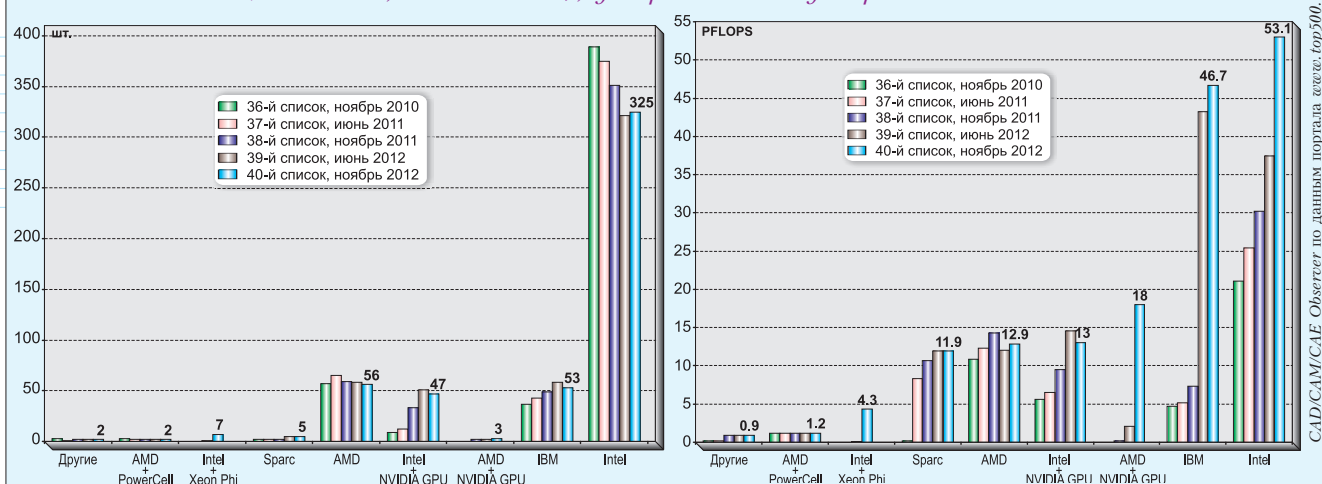


Рис. 19. Количество (слева) и суммарная производительность (справа) суперкомпьютеров в Top500 (2010–2012 гг., списки 36÷40) в зависимости от производителя процессоров

В активе компании *Fujitsu* – 2, 5 и 5 систем (гибридные системы отсутствуют) соответственно.

Сравнение по показателю суммарной производительности систем, построенных на процессорах соответствующих вендоров, для последних трех списков также оказывается в пользу *Intel* – 39.7, 52.2 и 70.4 PFLOPS (рис. 19, справа), включая весомый вклад гибридных систем (9.5, 14.3 и 17.3 PFLOPS).

Компания *IBM* поднялась на второе место – 8.4, 43.2 и 46.7 PFLOPS.

На третьем месте – компания *AMD*, для которой цифры получились следующими: 14.4, 15.2 и 32.0 PFLOPS; вклад гибридных систем

составляет 1.2, 3.2 и 19.2 PFLOPS соответственно.

Четвертое место досталось *Fujitsu* – 10.6, 11.9 и 11.9 PFLOPS.

Интеловские процессоры распределяются по четырем семействам: *Core*, *Nehalem*, *SandyBridge* и *Westmere*. Все процессоры “Голубого гиганта” принадлежат к семейству *POWER*, а процессоры *AMD* – к семейству *AMD x86_64*. На базе процессоров с архитектурой *SPARC* от *Fujitsu* в текущем списке построены пять систем.

Как свидетельствует российский рейтинг Top500, ведущими производителями процессоров, на базе которых построены суперкомпьютеры, установленные на территории РФ, являются три компании – *Intel*, *AMD* и *IBM* (рис. 20). В 17-м списке (сентябрь 2012 г.) зафиксировано, что подавляющее большинство (45 систем) базируется на интеловских процессорах, включая 15 гибридных систем; всего лишь четыре системы построены на процессорах *AMD* и одна – на базе микроприборов *IBM*.

В заключение отметим, что наш обзор впервые будет состоять из трех частей. Завершающая часть посвящается анализу итогов 2012 года, а также планам на 2013 год и тенденциям развития отрасли высокопроизводительных вычислений. Планируется, что она увидит свет в #1/2013.

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)

Amount of supercomputers, listed in Russian Top50 (2010÷2012, 13th÷17th lists), grouped according to processor vendors

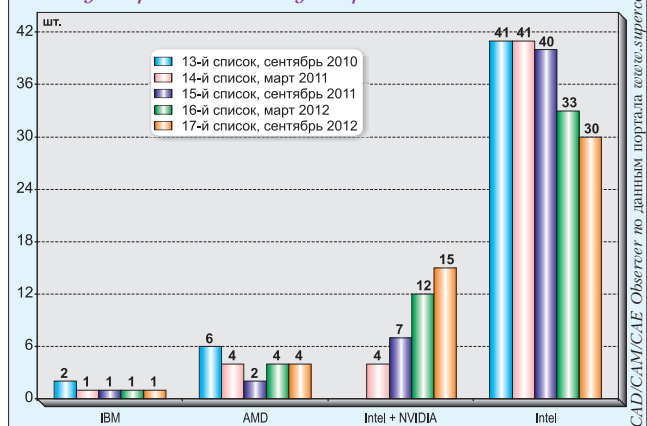


Рис. 20. Сравнение количества суперкомпьютеров на базе процессоров различных производителей в российском Top50 (2010–2012 гг., списки 13÷17)