

Системы высокопроизводительных вычислений в 2013–2014 годах: обзор достижений и анализ рынков

Часть III. Суперкомпьютеры

Сергей Павлов, Dr. Phys.

Внимание читателей предлагается 3-я часть обзора систем высокопроизводительных вычислений (ВПВ) или *High-Performance Computing (HPC)*. Напомним, что такой пятичастный комплексный обзор мы готовим уже второй раз. В этом году уже были опубликованы первая [1] и вторая [2] части. Все обзоры свободно доступны на сайте нашего журнала www.cad-cav-cae.ru.

Далее мы рассмотрим результаты развития мировой суперкомпьютерной отрасли, зафиксированные в рейтинге **Top500** (www.top500.org). Напомним, что рейтинг *Top500* был основан 22 года назад и публикуется два раза в год – в июне и ноябре. Новейший **44-й список** появился 17 ноября 2014 года. В наших обзорах данные мирового рейтинга анализируются, начиная с 2005 года. Еще раз отметим, что достижения российского рынка ВПВ, отраженные в российском рейтинге **Топ50**, оцениваются через призму *Top500* в контексте прогресса мирового суперкомпьютеростроения.

При изложении материала практически полностью сохранена структура 3-й части прошлогоднего обзора [3].

Интегральные показатели рейтинга Top500

Суммарная производительность систем, включенных в 44-й список *Top500*, в сравнении с показателями, обнародованными год назад в 42-м списке, увеличилась почти на четверть (23.5%) – с 250.08 до 308.85 петафлопсов; напомним, что 1 *Pflops* = 10^{15} операций с плавающей точкой (*flops*). При этом темпы роста производительности замедлились вдвое: год назад этот показатель составлял 54.4% в сравнении с юбилейным 40-м списком (161.97 *Pflops*).

За год суммарная производительность суперкомпьютеров, включенных в *Top500*, выросла на 23.5% и составила почти 309 *Pflops*.

Петафлопсовый барьер реального (по *LINPACK*) быстродействия преодолели 50 суперкомпьютеров из пятисот, или десятая часть. Эти системы установлены в 13-ти странах (год назад таких стран было восемь): США (19 систем), Великобритания (5), Франция (5), Япония (5), Германия (4), Китай (4), Италия (2), Австралия (1), Нидерланды (1), Россия (1), Финляндия (1), Швейцария (1) и Швеция (1).

Число “петафлопсников” за прошедший год увеличилось на 19 систем, которые распределились

по миру следующим образом: США (+6), Великобритания (+2), Франция (+2), Австралия (+1), Германия (+1), Италия (+1), Китай (+1), Нидерланды (+1), Россия (+1), Финляндия (+1), Швеция (+1), Япония (+1).

Реальное быстродействие, превышающее 1 петафлопс, сегодня демонстрируют 50 суперкомпьютеров, построенных в 13-ти странах.

Если оценивать по пиковой производительности, то к супервычислителям петафлопсного класса можно отнести, помимо упомянутых 50-ти, еще 24 системы. По странам они распределяются так: США (9), Китай (3), Германия (4), Австралия (3), Россия (1), Швейцария (1), Япония (1); а также Испания (1) и Саудовская Аравия (1), которые пока не располагают “петафлопсниками” по критерию реальной производительности.

К петафлопсному классу (по пиковому быстродействию) можно отнести 74 системы (14.8% из 500), установленные в 15-ти странах

Лидеры рейтинга Top500

“Горячая десятка” новейшего 44-го списка *Top500* (табл. 1) лишь последней позицией отличается от первой десятки годичной давности [3, табл. 1]. Поэтому за подробным описанием параметров первых девяти систем отсылаем читателя к предыдущему обзору [3] и, пропустив их, сразу переходим к 10-му пункту:

10. Суперкомпьютерная система *Cray CS-Storm*, которая установлена на площадке некоей государственной институции США (по классификации *Top500* относится к пользовательскому сегменту *government*). Эта система создана американской компанией *Cray* на базе 10-ядерных процессоров *Intel Xeon E5-2660v2* с тактовой частотой 2.2 GHz и ускорителей *K40* компании *NVIDIA*. Общее число ядер – 72 800, реальная производительность – **3.577 Pflops**, пиковая (расчетная) производительность – 6.132 *Pflops*, вычислительная эффективность (отношение реальной производительности к пиковой) – 58.3%.

По энергоэффективности (2386.42 *Mflops/W*) суперкомпьютер *Cray CS-Storm* может претендовать на 22-е место в *Green500*, но в первой десятке *Top500* он занимает 2-е место за системой *Piz Daint*.

✓ Былые рекордсмены еще в строю

Краткая характеристика прежних систем-победителей, попавших и в первую десятку 44-го списка *Top500*:

- лидером 44-го и трех предыдущих (41÷43) списков *Top500* является китайский суперкомпьютер **Tianhe-2** (на английском языке название звучит как **Milky Way-2**), разработанный и инсталлированный в Национальном университете оборонных технологий (*National University of Defense Technology – NUDT*) в гор. Чанша. Рекордный на настоящий момент уровень его реальной производительности – **33.8627 Pflops**. Пиковая производительность составляет 54.9024 Pflops, а вычислительная эффективность – 61.68%. Система объединяет 32 тысячи 12-ядерных процессоров *Intel Xeon E5-2692* с тактовой частотой 2.2 GHz и 48 тысяч сопроцессоров *Intel Xeon Phi 31S1P* с 57-ю ядрами и тактовой частотой 1.1 GHz. Общее число процессорных ядер – 3 120 000.

Рекордное быстродействие 33.8627 Pflops (по LINPACK), зафиксированное в четырех последних списках *Top500* (от 41-го до 44-го), демонстрирует китайский суперкомпьютер *Tianhe-2*, сочетающий в себе 3 120 000 ядер процессоров и сопроцессоров от компании *Intel*.

- суперкомпьютер **Titan** с гибридной архитектурой от американской компании *Cray* – лидер 40-го списка *Top500*. Реальное быстродействие – **17.59 Pflops**, пиковое – 27.113 Pflops, вычислительная эффективность – 64.9%;
- суперкомпьютер **Sequoia** от компании *IBM* – победитель из 39-го списка. Реальная производительность – **17.173 Pflops**, пиковая – 20.133 Pflops, вычислительная эффективность – 85.3%;
- японский **K computer** компании *Fujitsu* – лидер 37-го и 38-го списков. Реальная производительность – **10.51 Pflops**, пиковая – 11.28 Pflops, вычислительная эффективность – 93.2%.

Таблица 1. Первая десятка международного суперкомпьютерного рейтинга *Top500* в ноябре 2014 года

Место в рейтинге <i>Top500</i>	Реальная производительность Pflops	Общее число процессорных ядер	Название компьютера, архитектура, применяемые процессоры и ускорители	Компания-производитель	Организация, где инсталлирован суперкомпьютер	Место в рейтинге <i>Green500</i>	Энергоэффективность, Mflops/W
1	33.86	3120000	Tianhe-2 (<i>NUDT TH-IVB-FEP</i>) <i>Intel Xeon E5-2692</i> (12 ядер, 2.2 GHz) <i>Intel Xeon Phi 31S1P</i>	<i>NUDT</i> (Китай)	Национальный университет оборонных технологий (<i>NUDT</i>) (Чанша, Китай)	64	1901.5
2	17.59	560640	Titan (<i>Cray XK7</i>) <i>Opteron 6274</i> (16 ядер, 2.2 GHz) <i>NVIDIA K20x</i>	<i>Cray</i> (США)	Окридгская национальная лаборатория (штат Теннесси, США)	53	2142.8
3	17.17	1572864	Sequoia (<i>BlueGene/Q</i>) <i>Power BQC</i> (16 ядер, 1.6 GHz)	<i>IBM</i> (США)	Ливерморская национальная лаборатория им. Э. Лоуренса (штат Калифорния, США)	48	2176.6
4	10.51	705024	K computer <i>SPARC64 VIIIfx</i> (8 ядер, 2.0 GHz)	<i>Fujitsu</i> (Япония)	Институт физико-химических исследований (Кобе, Япония)	156	830.2
5	8.59	786432	Mira (<i>BlueGene/Q</i>) <i>Power BQC</i> (16 ядер, 1.6 GHz)	<i>IBM</i> (США)	Аргонская национальная лаборатория (штат Иллинойс, США)	47	2176.6
6	6.27	115984	Piz Daint (<i>Cray XC30</i>) <i>Xeon E5-2670</i> (8 ядер, 2.6 GHz) <i>NVIDIA K20x</i>	<i>Cray</i> (США)	Швейцарский национальный суперкомпьютерный центр (Лугано, Швейцария)	9	3185.9
7	5.17	462462	Stampede (<i>PowerEdge C8220</i>) <i>Intel Xeon E5-2680</i> (8 ядер, 2.7 GHz) <i>Intel Xeon Phi SE10P</i>	<i>Dell</i> (США)	Техасский центр передовых компьютерных технологий (Остин, штат Техас, США)	91	1145.9
8	5.01	458752	JUQUEEN (<i>BlueGene/Q</i>) <i>Power BQC</i> (16 ядер, 1.6 GHz)	<i>IBM</i> (США)	Исследовательский центр (Юлих, федеральная земля Северный Рейн – Вестфалия, ФРГ)	40	2176.8
9	4.29	393216	Vulcan (<i>BlueGene/Q</i>) <i>Power BQC</i> (16 ядер, 1.6 GHz)	<i>IBM</i> (США)	Ливерморская национальная лаборатория им. Э. Лоуренса (штат Калифорния, США)	38	2177.1
10	3.58	72800	(<i>Cray CS-Storm</i>) <i>Intel Xeon E5-2660v2</i> (10 ядер, 2.2 GHz) <i>NVIDIA K40</i>	<i>Cray</i> (США)	Государственная институция (США)	22	2386.4

✓ **Лучшие производители лучших систем**

Среди производителей лидирующих суперкомпьютеров рекордсменом сейчас является компания **IBM**: в первую десятку 44-го списка входят четыре её системы с общей производительностью 35.061 Pfllops. Год назад пять систем **IBM** из первой десятки вместе выдавали на-гора 37.959 Pfllops.

Компания **IBM** – лидирующий производитель систем из первой десятки **Top500**; суммарная производительность четырех её лучших суперкомпьютеров составляет 35.061 Pfllops.

Второе место – у компании **Cray**: в первую десятку попали три её системы, в сумме обеспечивающие производительность 27.438 Pfllops. Год назад в первой десятке было две системы **Cray** с суммарным показателем 23.861 Pfllops.

Области применения систем ВПВ

Наибольшее количество суперкомпьютеров из **Top500** работает в промышленности (*industry*): в 44-м списке таких 255 (51% от общего числа систем). Для научных исследований (*research*) применяются 118 систем (23.6%), а в образовании (*academic*) – 88 систем или 17.6% (рис. 1, 3). Год назад, в 42-м списке, распределение было следующим: в промышленности – 282 системы (56.4%); в научных исследованиях – 103 системы (20.6%), в образовании – 83 системы (16.6%).

Если рассматривать число систем для каждого пользовательского сегмента на более длительном временном отрезке, то изменения можно интерпретировать как колебания относительно средних значений, причем средние значения за 5 и 10 лет отличаются незначительно. Для списков с 35-го (июнь 2010 года) по 44-й (ноябрь

Implementation segments of supercomputers: amount of systems, listed in Top500 (2012÷2014, 40th÷44th lists)

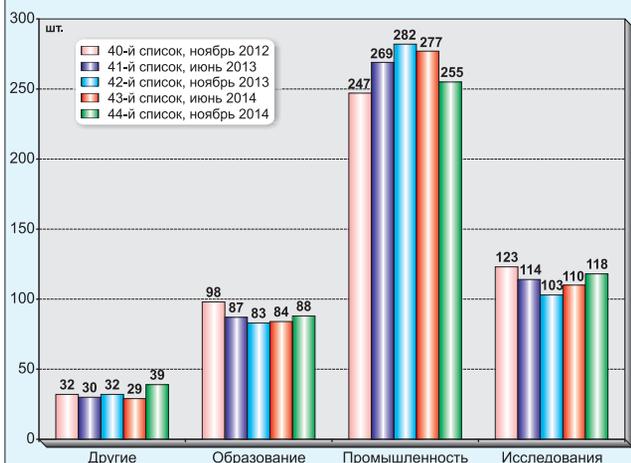


Рис. 1. Области применения суперкомпьютеров в период 2012–2014 гг.: количество систем, включенных в Top500 (списки 40÷44)

Implementation segments of supercomputers: total performance of systems, listed in Top500 (2012÷2014, 40th÷44th lists)

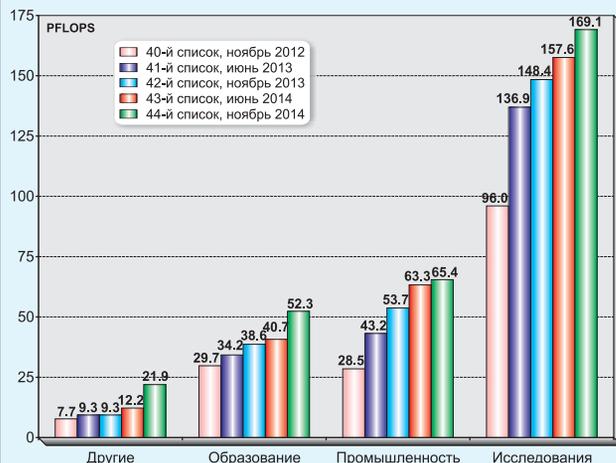


Рис. 2. Области применения суперкомпьютеров в период 2012–2014 гг.: суммарная производительность систем, включенных в Top500 (списки 40÷44)

Shares of amount of systems, which correspond to implementation segments of supercomputers, listed in Top500: 2014, 44th list



Рис. 3. Количественное распределение систем из Top500 по областям применения в 2014 г. (список 44)

Shares of total performance, which correspond to implementation segments of supercomputers, listed in Top500: 2014, 44th list



Рис. 4. Распределение суммарной производительности систем из Top500 по областям применения в 2014 г. (список 44)

2014 года) средние значения получаются следующими: промышленность – 274, исследования – 112, образование – 85, а для списков с 26-го (ноябрь 2005 года) по 44-й – 278, 109, 85 систем соответственно.

По суммарной производительности впереди идут системы для науки – 169.1 Pflops (54.8% от общей производительности всех систем, включенных в рейтинг). На промышленность работает совокупная вычислительная мощность 65.4 Pflops (21.2%), а на образование – 52.4 Pflops или 16.9% (рис. 2, 4). Во всех пользовательских сегментах наблюдается значительный прирост производительности. И год, и два года назад показатели суммарной производительности были намного скромнее: в 42-м списке – 148.4, 53.7 и 38.6 Pflops; а в 40-м списке – 96, 28.5 и 29.7 Pflops. Напомним, что за время, прошедшее между составлением 40-го и 41-го списков, промышленность обошла сферу образования по этому важному параметру.

Отметим, что сфера исследований по суммарной производительности применяемых суперкомпьютеров в ноябре 2014 года обгоняет и промышленность, и образование – в 2.6 и 3.2 раза соответственно. Эта тенденция сохраняется на длительном временном отрезке – средние значения опережения, взятые за период с ноября 2005 года по ноябрь 2014 года, составляют соответственно 2.1 и 3 раза.

Опережающими темпами растет вычислительная мощность научно-исследовательского сектора, обеспечивающего перспективное развитие всех отраслей, где будут востребованы суперкомпьютеры.

В группу “другие” на рис. 1÷4 объединены области применения, которые не столь велики – как

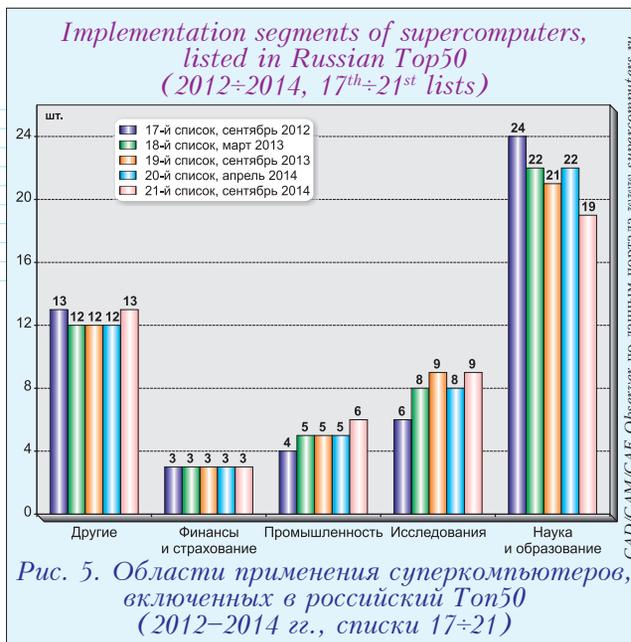


Рис. 5. Области применения суперкомпьютеров, включенных в российский Top50 (2012–2014 гг., списки 17–21)

по числу инсталляций, так и по суммарной производительности. Туда попадают суперкомпьютеры, являющиеся объектом экспериментов, которые проводят их разработчики (vendor); системы, применяемые для решения задач распознавания и шифрования (classified), а также для задач государственного управления (government). Отметим, что в новейшем 44-м списке в первую десятку вошел инсталлированный в 2014 году суперкомпьютер петафлопсного класса, который применяется как раз для задач государственного управления.

Согласно данным российского рейтинга Top50 (рис. 5), в сентябре 2014 г. для научных исследований в России было задействовано 9 систем, на

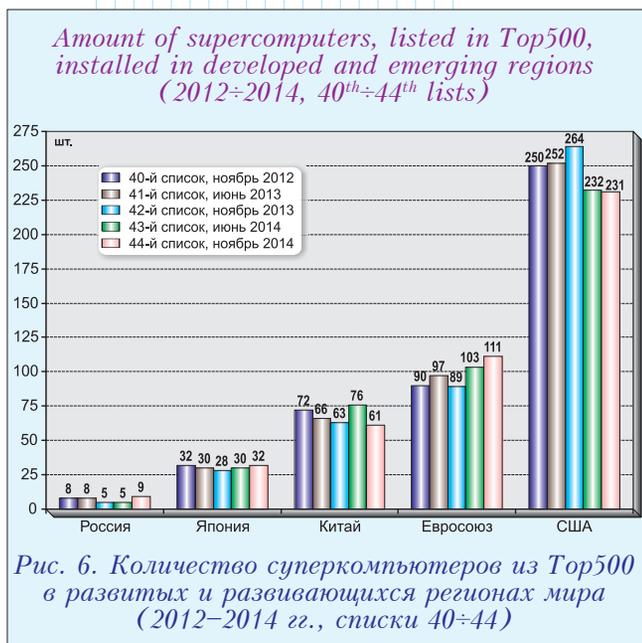


Рис. 6. Количество суперкомпьютеров из Top500 в развитых и развивающихся регионах мира (2012–2014 гг., списки 40÷44)

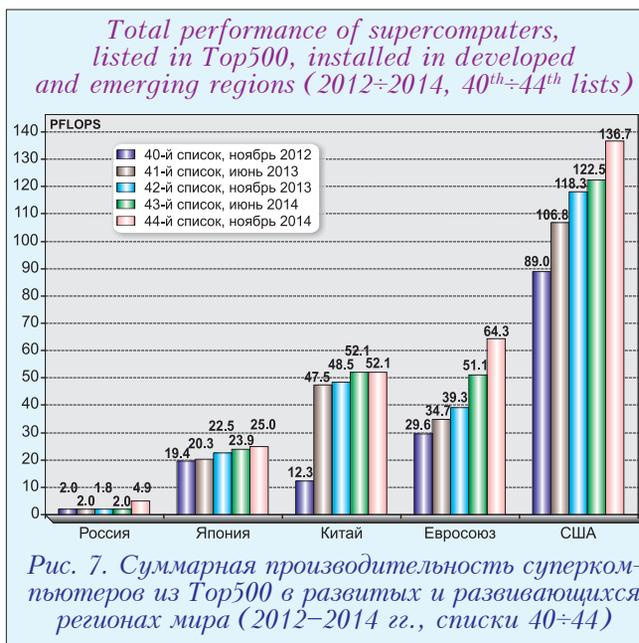
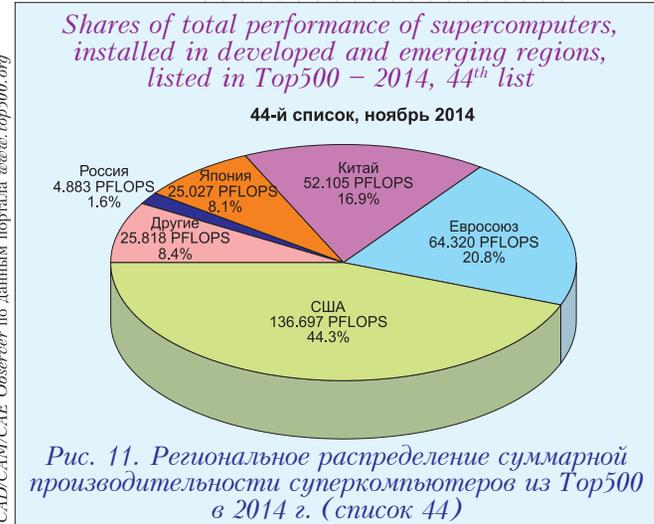
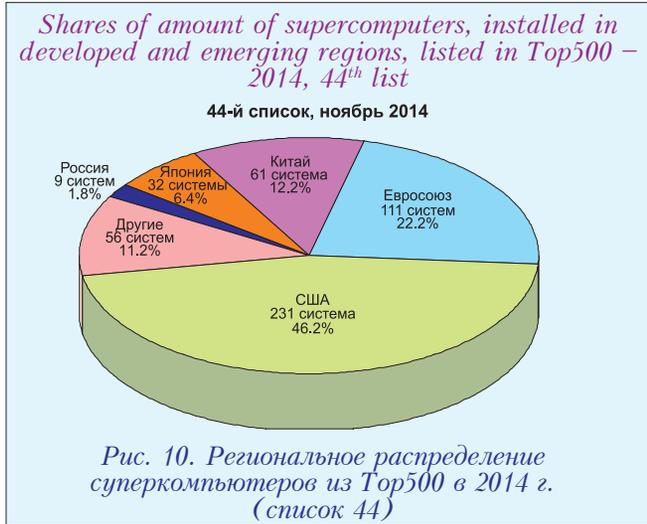
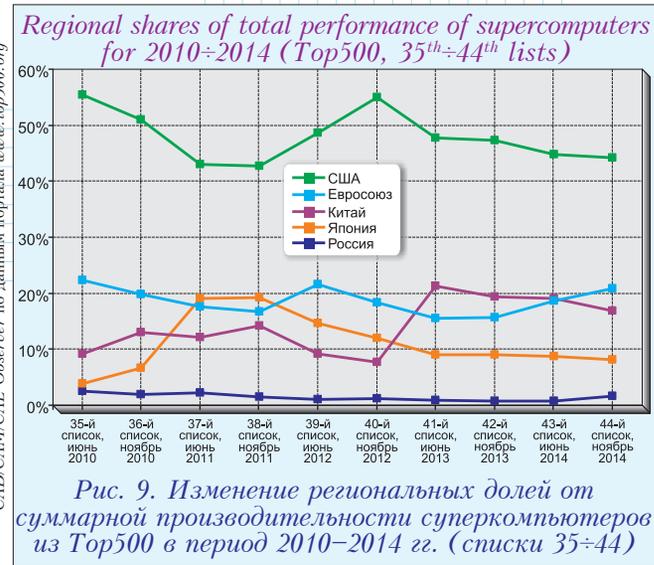
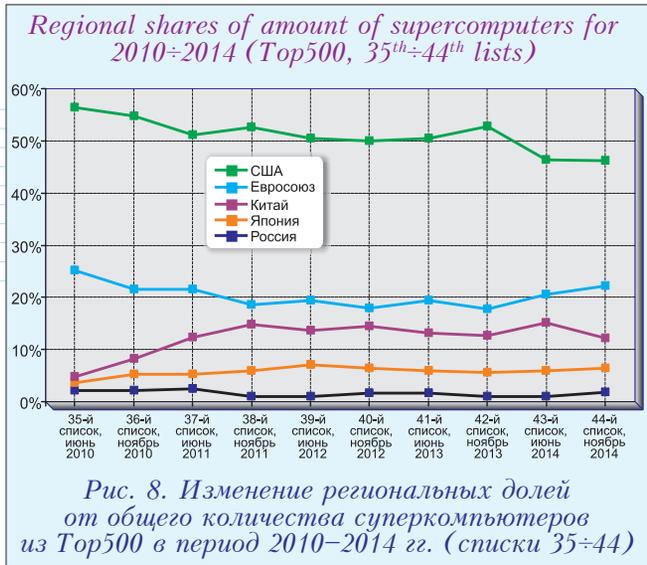


Рис. 7. Суммарная производительность суперкомпьютеров из Top500 в развитых и развивающихся регионах мира (2012–2014 гг., списки 40÷44)



промышленность работало 6 систем, в области финансов и страхования – 3. В сфере высшего образования и науки сейчас занято 19 супервычислителей (напомним, что в марте 2011 года в этой сфере работало 30 систем, то есть на 11 больше). Для сравнения с состоянием годичной и двухгодичной давности приведем цифры на сентябрь 2013-го (9, 5, 3 и 21 система) и на сентябрь 2012-го (6, 4, 3 и 24 системы) соответственно.

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 40÷44 рейтинга Top500) наглядно отображены на диаграммах (рис. 6÷12). На рис. 8, 9 можно проследить тенденции в развитии регионов, построивших супервычислители петафлопсного класса и имеющих



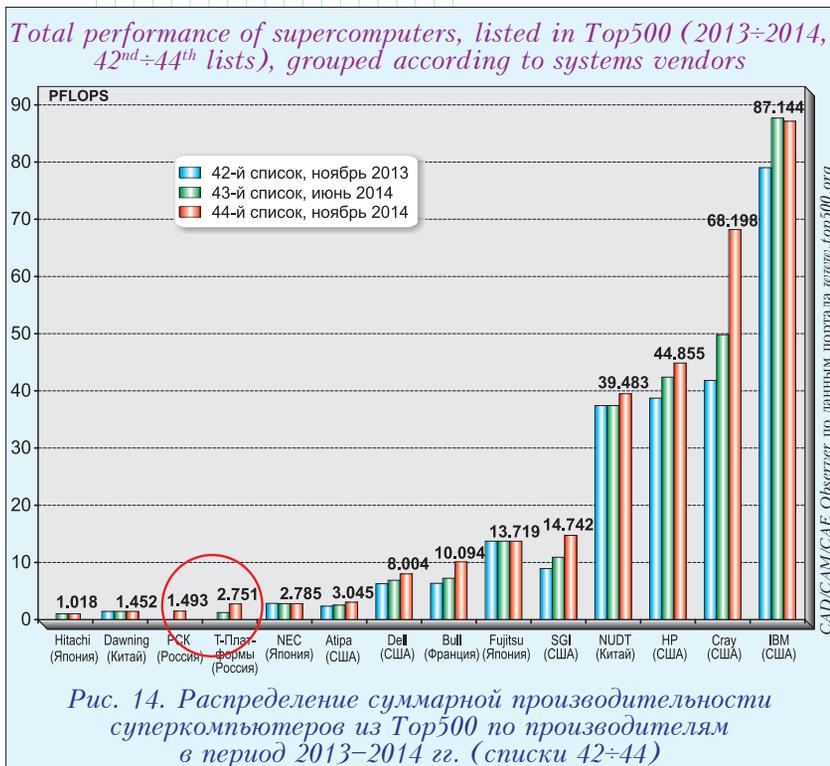
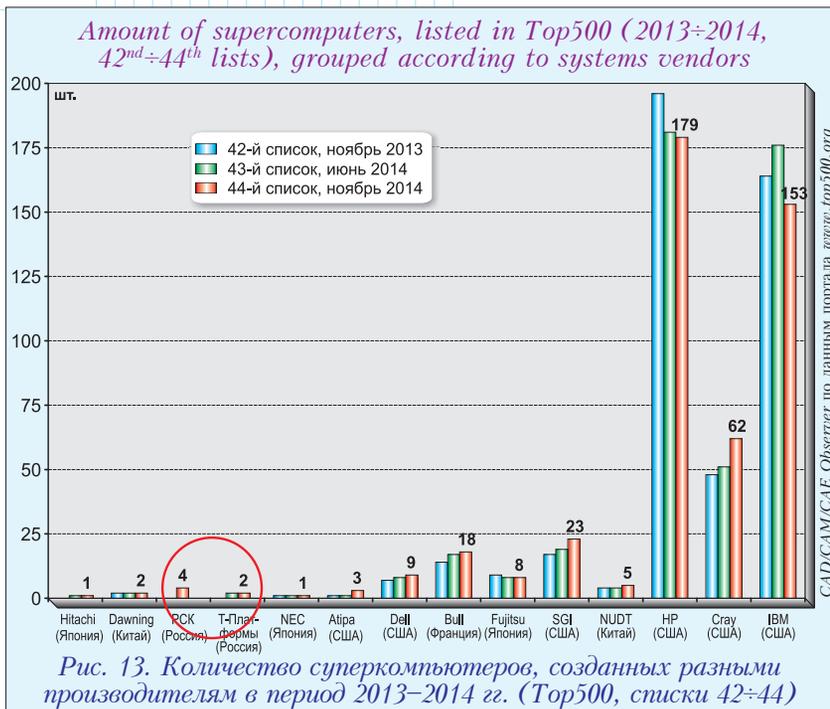
амбиции достичь экзафлопсный рубеж, за последние пять лет (списки 35÷44).

✓ США

По данным на ноябрь 2014 года, в США инсталлирован 231 суперкомпьютер или 46.2% от общего числа систем уровня *Top500* – на 33 меньше, чем год назад. В 43-м списке этот показатель составлял 46.4%. Ранее, на протяжении всего

периода существования наших обзоров (2005–2013 гг.), доля США неизменно превышала половину.

В июне и ноябре 2014 года доля функционирующих в США суперкомпьютеров уровня *Top500* составляла уже менее половины от общего числа систем, включенных в этот рейтинг.



В ноябре 2014 года суммарная производительность упомянутых систем достигла 136.7 *Pflops*. За год это показатель вырос на 15.6% – с 118.3 *Pflops*. Доля США в общей производительности *Top500* составила 44.3% – еще меньше, чем в ноябре 2013 года, когда она оказалась меньше половины (47.3%) вследствие “великого китайского скачка”.

✓ Евросоюз

Число систем из стран ЕС в 44-м списке *Top500* составило 111 (22.2%). За год это число увеличилось на четверть – в ноябре 2013 года таких систем было 89 (17.8%).

Суммарная производительность этих 111-ти систем достигла 64.3 *Pflops* (20.3% от общего значения для *Top500*), что позволило ЕС вернуться на 2-е место. За год суммарная производительность увеличилась в 1.6 раза – в ноябре 2013 года этот показатель был равен 39.3 *Pflops* (20.8% от общего значения для *Top500*).

Три первых места в ЕС стабильно занимают Германия (20.1 *Pflops*, 26 систем), Великобритания (15.4 *Pflops*, 30 систем) и Франция (14.1 *Pflops*, 30 систем). На долю этих трех стран приходится 77.5% суперкомпьютеров из *Top500* на территории ЕС и 77.1% их суммарной производительности.

Отметим, что в 44-й список *Top500* попали супервычислители только 13-ти из 28-ми стран ЕС.

Обойдя Китай, на 2-ю позицию в региональном рейтинге вернулся ЕС, что стало результатом прироста на четверть числа европейских систем в *Top500*. Сегодня 111 суперкомпьютеров Евросоюза демонстрируют суммарную производительность 64.3 *Pflops*.

✓ **Китай**

За прошедший год доля Китая в *Top500* несколько сократилась – до 14.4% (61 система) в 44-м списке по сравнению с 12.6% (63 системы) в 42-м. Максимум был зафиксирован в июне 2014 года (43-й список) – 76 систем (20.6%).

По суммарной производительности топовых суперкомпьютеров (52.105 *Pflops* или 16.9%) в 44-м списке Китай занял всего лишь 3-е место, пропустив вперед Евросоюз. До этого (списки 41÷43) он был вторым, совершив скачок с 4-й позиции (40-й список) и обогнав ЕС и Японию, которые не раз получали серебро; причиной стремительного перемещения стала инсталляция рекордсмена четырех последних списков – суперкомпьютера *Tianhe-2*.

✓ **Япония**

Число инсталлированных в Стране Восходящего Солнца систем за год увеличилось с 28-ми (5.6%) до 32-х (6.4%). Их суммарная производительность достигла 25.0 *Pflops* (8.1% от общей), увеличившись всего в 1.11 раза, что меньше годового темпа роста *Top500* в целом (1.23 раза).

Четвертое место по величине суммарной производительности Япония занимает в последних четырех списках (с 41-го по 44-й). Напомним, что на 2-й позиции с показателем 14.2 *Pflops* (19.2% от общей) эта страна находилась в ноябре 2011 года благодаря рекордсмену 37-го и 38-го списков – *K computer*.

✓ **Россия**

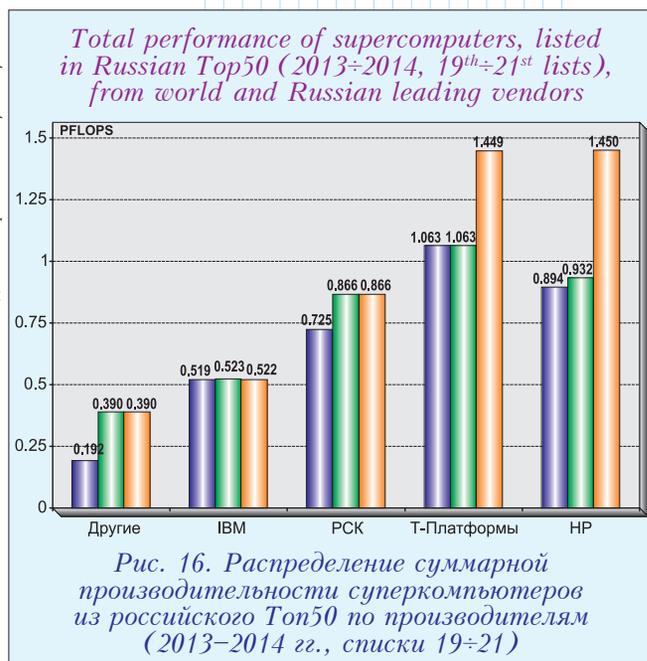
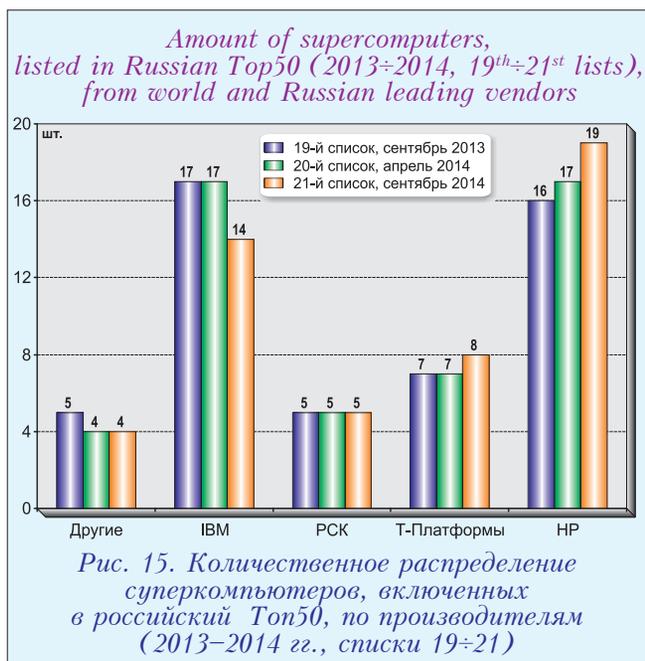
Российская Федерация в 44-м списке *Top500* представлена девятью системами (1.8% от общего числа) с суммарной производительностью 4.883 *Pflops* (1.58% от общего значения). Год назад, в 42-м списке, показатели были хуже: пять систем (1% от общего числа) с суммарной

производительностью 1.885 *Pflops* (0.74% от общей). Два года назад в юбилейный 40-й список вошло восемь систем (1.6%) с суммарной производительностью 1.991 *Pflops* (1.2% от общей).

В ноябре 2014 года суммарная мощь российских суперкомпьютеров из *Top500* (4.883 *Pflops*) оказалась больше общей производительности всех систем, включенных в сентябре 2014 года в 21-й список российского рейтинга *Top50* – 4.667 *Pflops* (рис. 12). Год и два года назад этот показатель систем из *Top500* не дотягивал до суммарной производительности систем из *Top50* и составлял 54.4% и 77.5% соответственно. Такое достижение связано с запуском первого российского петафлопсника, который построен компанией “Т-Платформы” уже после обнаружения 21-го списка *Top50*. Теперь в Суперкомпьютерном центре МГУ им. М.В.Ломоносова работает суперкомпьютер с реальной производительностью **1.849 *Pflops***, пиковой (расчетной) производительностью 2.576 *Pflops* и вычислительной эффективностью 71.7%. Достигнутый уровень быстродействия соответствует 22-му месту в *Top500*. Отставание по производительности от мирового лидера, китайского *Tianhe-2*, составляет 18.3 раза.

Первый российский петафлопсник создан компанией “Т-Платформы”; реальное быстродействие 1.849 *Pflops* позволило ему занять 22-е место в 44-м списке *Top500*.

Новый суперкомпьютер состоит из пяти вычислительных стоек с 1280-ю узлами на базе 14-ядерных процессоров *Intel Xeon E5-2697 v3* и ускорителей *NVIDIA Tesla K40*. Каждая стойка потребляет порядка 130 *kW* и охлаждается горячей водой (рабочая температура 45°C). Инженерная



инфраструктура установлена также компанией “Т-Платформы” и рассчитана на отвод 12 MW тепла. Плотность энергетической мощности на единицу площади – более 12 kW/m² (в три раза лучше по сравнению со среднеотраслевым показателем). Оценки показывают, что инфраструктура может обеспечить отвод тепла от ~18.5 таких же вычислительных стоек, а реальная производительность системы может быть увеличена до ~70 Pflops.

Первый российский суперкомпьютер петафлопсного класса “Ломоносов” с пиковым быстродействием 1.7 Pflops (реальное быстродействие – 0.9 Pflops) сейчас занимает 58-е место и в 37.5 раз уступает по производительности мировому лидеру.

Другая российская система, “РСК Торнадо”, еще в 2013 году анонсированная как прототип суперкомпьютера с быстродействием 10 Pflops для Межведомственного суперкомпьютерного центра Российской Академии Наук (МСЦ РАН), к сожалению, так и осталась прототипом; в 44-м списке этой системе отведено 133-е место (0.376 Pflops).

Ведущие производители суперкомпьютеров

Показатели ведущих производителей суперкомпьютеров из Top500 представлены на рис. 13, 14. Компании отранжированы в соответствии с суммарной реальной производительностью их систем, набравших проходной балл в Top500. Производители, не набравшие в сумме петафлопс, в расчет не принимались.

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

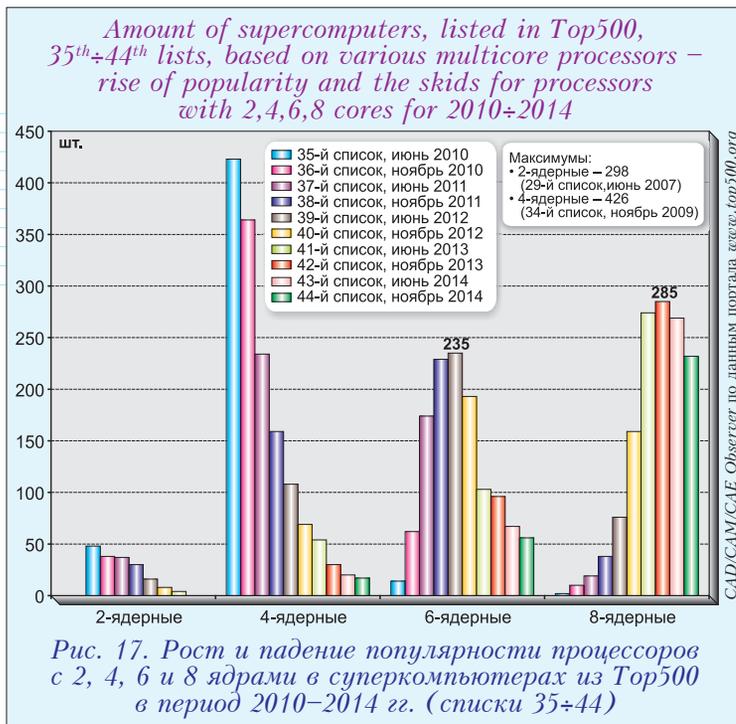
1) производители суперкомпьютеров, входящих в первую десятку Top500, – National University of Defense Technology (NUDT), Cray, IBM, Fujitsu, Dell;

2) участники мирового рынка HPC-систем – Hewlett-Packard, SGI, Bull;

3) участники региональных рынков HPC-систем – Atipa Technologies (гор. Лоренс, штат Канзас, США), HPC-подразделение компании Microtech Computers; Dawning, Hitachi, NEC, “Т-Платформы”, “РСК”.

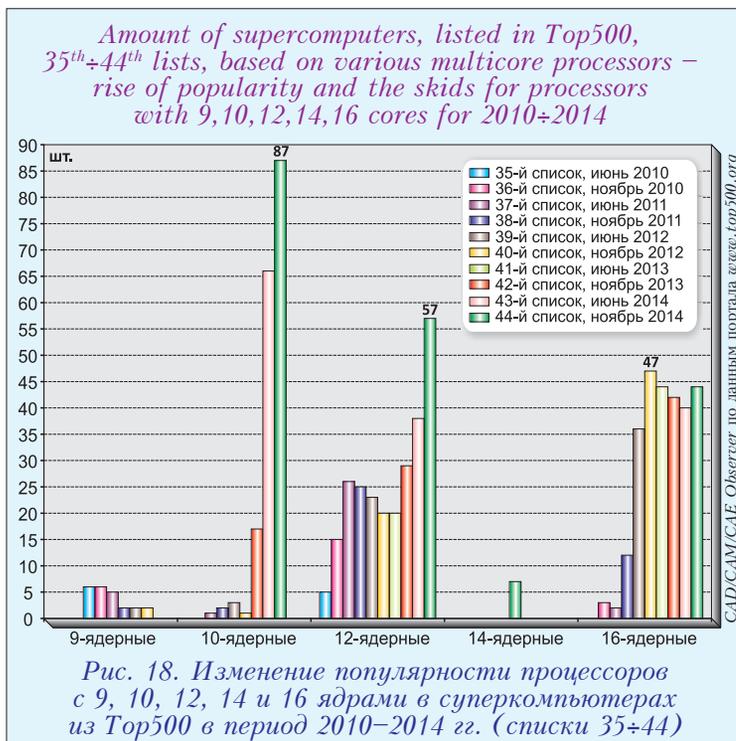
Напомним, что из списка выбыла компания Oracle, у которой число суперкомпьютеров, включенных в Top500, за два года сократилось с шести до двух; все эти системы установила еще компания Sun Microsystems.

В список наблюдаемых производителей вернулась компания “Т-Платформы”, которая благодаря заботам Министерства торговли США в 2013 году находилась под “запретом на профессию”. Кроме того, в список



вошла российская компания “РСК”. Таким образом, в мировом рейтинге теперь присутствуют две российские компании (на рис. 13, 14 обведены красным кружком), которые построили системы, в сумме демонстрирующие реальное быстродействие более петафлопса.

По количеству установленных суперкомпьютеров, начиная с 41-го списка, продолжает лидировать Hewlett-Packard (HP). В трех последних



списках (ноябрь 2013 г., июнь и ноябрь 2014 г.) показатели HP – 196, 181 и 179 систем соответственно (рис. 13). На 2-м месте находится корпорация IBM, построившая 164, 176 и 153 системы из пятисот соответственно. После приобретения в 2012 году компании Appro на стабильное 3-е место вышла компания Cray, в активе которой 48, 51 и 62 системы.

Лидером по числу построенных суперкомпьютеров уровня Top500 является компания Hewlett-Packard – на её счету 179 систем.

Значительно меньше суперкомпьютеров смогли собрать компании SGI, Bull, Dell и Fujitsu – в ноябре 2014 года их было 23, 18, 9 и 8 соответственно.

Беспорным лидером Top500 в аспекте суммарной производительности установленных систем является IBM (рис. 14). В ноябре 2013 года, в июне и ноябре 2014 года этот важнейший показатель имел значения 79, 87.7 и 87.1 Pflops соответственно.

На второй позиции по суммарной производительности в ноябре 2014 года находятся суперкомпьютеры

Cray – 68.2 Pflops. Третью позицию теперь занимают системы от HP – 44.9 Pflops.

На 4-м месте с показателем 39.5 Pflops находится NUDT, разработчик рекордсмена Tianhe-2. Наиболее высоким достижением для NUDT было 2-е место (41-й список Top500).

Компания SGI (показатель – 14.7 Pflops) сдвинула с пятой позиции на шестую компанию Fujitsu (13.7 Pflops).

Компания IBM остается лидером по суммарной производительности суперкомпьютеров – 87.1 Pflops.

Остановка в движении из-за запрета на профессию стоила компании “Т-Платформы” лидерства на российском рынке. В сентябре 2014 года, по данным 21-го списка Top50 (рис. 15, 16), на 1-е место по суммарной производительности выдвинулась Hewlett-Packard (1.450 Pflops у 19-ти систем), опередив компанию “Т-Платформы” всего на один терафлопс (1.449 Pflops у 8-ми систем). Третье место занимает компания “РСК” (0.866 Pflops у 5-ти систем). Четвертым местом довольствуется IBM (0.522 Pflops у 14-ти систем).

Судя по результатам компаний “Т-Платформы” и “РСК” в 44-м списке Top500, уже в марте 2015 года, когда выйдет 22-й список российского Top50, можно ожидать существенных изменений на пьедестале почта.

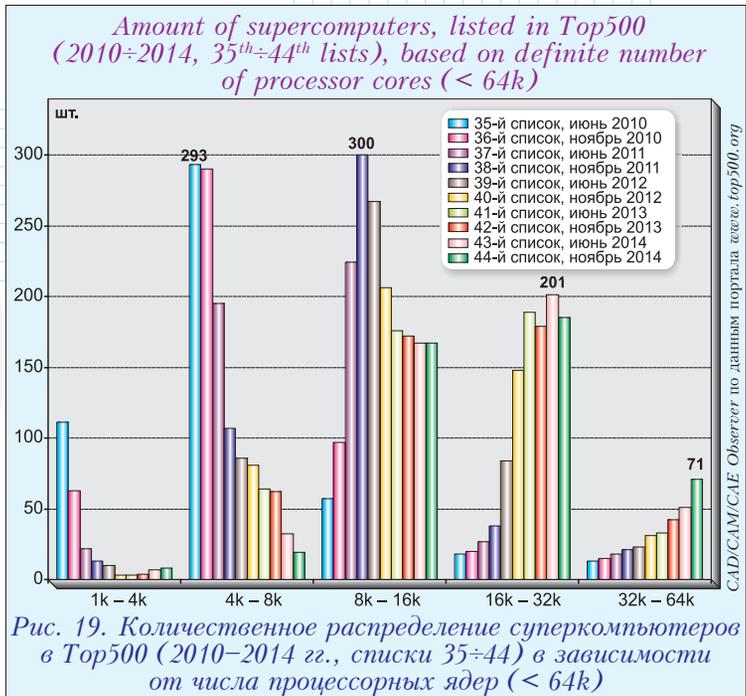


Рис. 19. Количественное распределение суперкомпьютеров в Top500 (2010–2014 гг., списки 35–44) в зависимости от числа процессорных ядер (< 64k)

Число процессорных ядер в суперкомпьютерах

Статистика использования многоядерных процессоров для построения суперкомпьютеров, входящих в Top500, показана на рис. 17, 18.

В 44-м списке наиболее популярными остаются 8-ядерные процессоры – на их базе построено 232 системы; 6-ядерные процессоры были наиболее применяемыми в 39-м списке – на их базе было построено 235 систем. Пик популярности 4-ядерных процессоров пришелся на 34-й список – 426 систем.

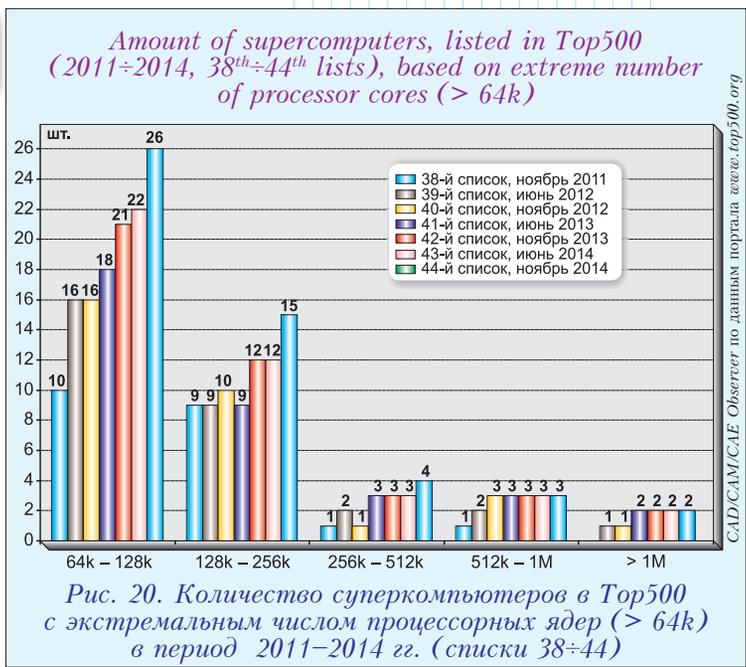


Рис. 20. Количество суперкомпьютеров в Top500 с экстремальным числом процессорных ядер (> 64k) в период 2011–2014 гг. (списки 38–44)

Наибольшей популярностью при строительстве суперкомпьютеров сейчас пользуются 8-ядерные процессоры, на базе которых создано 232 системы.

Растет популярность 10- и 12-ядерных процессоров, на базе которых построено 87 и 57 систем, включенных в 44-й список *Top500*. Пик использования 16-ядерных процессоров пока приходится на 40-й список (47 супервычислителей), тогда как в текущем списке таких систем всего 44. Суперкомпьютеры на 9-ядерных процессорах присутствовали в *Top500* до 40-го списка.

Наиболее распространенное число ядер в одной системе сейчас лежит в пределах от 16k до 32k, где $k = 1024$. В текущем 44-м списке таких систем оказалось 185, а пик популярности пока приходится на 43-й список – 201 система (рис. 19).

Суперкомпьютеры с рекордными характеристиками содержат в себе значительно большее число ядер, превышающее 256k (рис. 20). За три года количество таких систем возросло с двух до девяти. Рекордсменом в этой номинации является *Tianhe-2*, лидер 41÷44 списков *Top500*: общее число его ядер равно 3 120 000 или 2.98M ($M = 1024 \times 1024$). Далее следуют системы:

- *Sequoia*, лидер 39-го списка *Top500*, у которой 1 572 864 ядра (1.5M);
- *Mira* – 786 432 ядра (0.75M);
- *K computer*, лидер списков 2011 года, – 705 024 ядра (0.67M);
- *Titan*, лидер 40-го списка, – 560 640 ядра (0.53M).

Отметим, что из пяти названных систем две являются гибридными.

Для супервычислителей из российского *Top500* этот показатель значительно скромнее (рис. 21). В 21-м списке, опубликованном в сентябре 2014 года, всего четыре системы из 50-ти имеют от 16k до 32k процессорных ядер (а это наиболее популярная конфигурация в *Top500*). Как и два года назад, лишь один супервычислитель – лидер списка “Ломоносов” – может похвастаться наличием более 64k ядер (система имеет гибридную архитектуру). Общее количество ядер у него достигает 78 660 (чуть меньше 76.8k), в том числе 29 820 ядер графических процессоров.

Благодаря достижениям компаний “Т-Платформы” и “РСК”, уже в мартовском, 22-м списке *Top500* можно ожидать изменений и в раскладе по количеству процессорных ядер в лидирующих системах.

Amount of supercomputers, listed in Russian Top50 (2013÷2014, 19th÷21st lists), based on definite number of processor cores

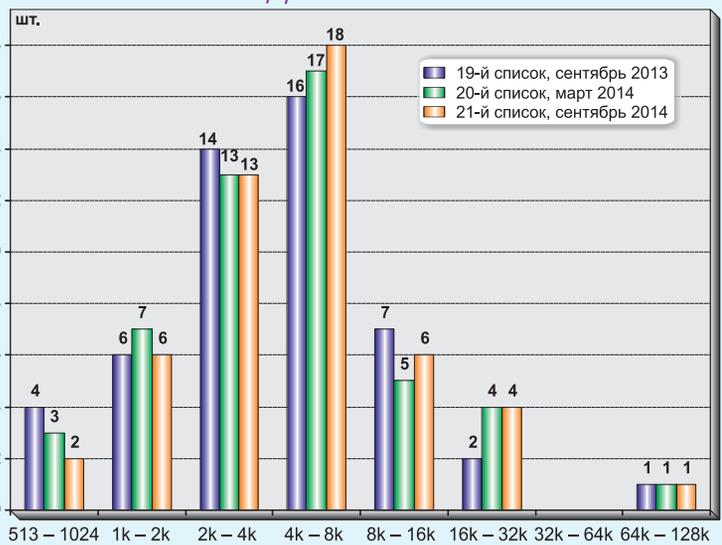


Рис. 21. Количественное распределение суперкомпьютеров из российского Top50 (2013–2014 гг., списки 19÷21) в зависимости от числа процессорных ядер

Суперкомпьютеры с гибридной архитектурой

В текущем 44-м списке *Top500* доля систем с гибридной архитектурой выросла почти наполовину – до 15% (75 систем) – по сравнению с 42-м списком годичной давности, когда их было 10.4% (52 системы). Диаграмма на рис. 22 позволяет сопоставить число гибридных

Amount of supercomputers, listed in Top500 (2013÷2014, 42nd÷44th lists), with hybrid architecture based on definite number of co-processor and graphic (GPU) processor cores

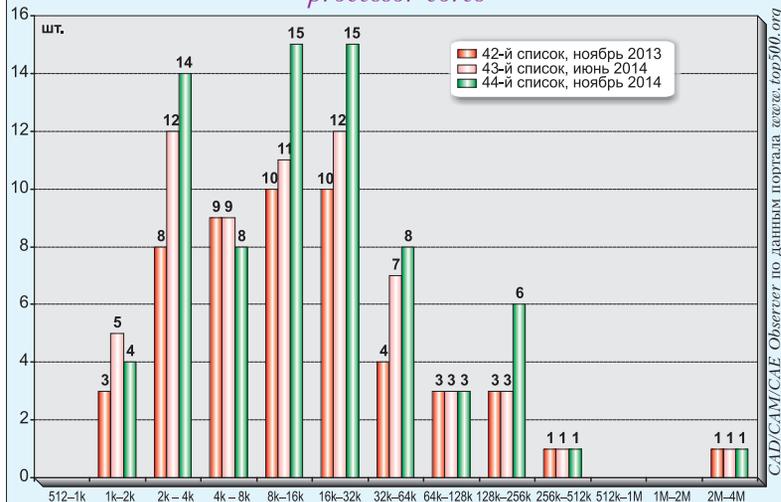


Рис. 22. Количественное распределение входящих в Top500 суперкомпьютеров с гибридной архитектурой в зависимости от числа ядер в сопроцессорах и графических процессорах (2013–2014 гг., списки 42÷44)

супервычислителей, обладающих различным суммарным количеством ядер графических процессоров или сопроцессоров, используемых для ускорения вычислений.

Число суперкомпьютеров с гибридной архитектурой выросло почти наполовину и достигло 75-ти, что составляет 15% от включенных в Top500 систем

В первой десятке Top500 сейчас представлено пять гибридных систем: *Tianhe-2* (1-е место), *Titan* (2-е место), *Piz Daint* (6-е место), *Stampede* (7-е место) и *Cray CS-Storm* (10-е место).

В ноябре 2014 года среди гибридных систем наиболее популярной является комбинация “*Intel + NVIDIA GPU*”. Всего в Top500 таких систем – 43 (рис. 23), а год и два назад их было 42 и 47. На втором месте находится сочетание “*Intel + Xeon Phi*” – 21 суперкомпьютер; за год с ноября 2013 года рост составил +9 систем, а за два года с ноября 2012 года это направление приросло 14-тью системами.

По суммарной производительности среди гибридных суперкомпьютеров на лидирующих позициях находится комбинация “*Intel + Xeon Phi*” – 54.4 Pflops (рис. 24), представленная в том числе и рекордсменом *Tianhe-2*. Для этой категории гибридных систем прирост за год составил +9.2 Pflops.

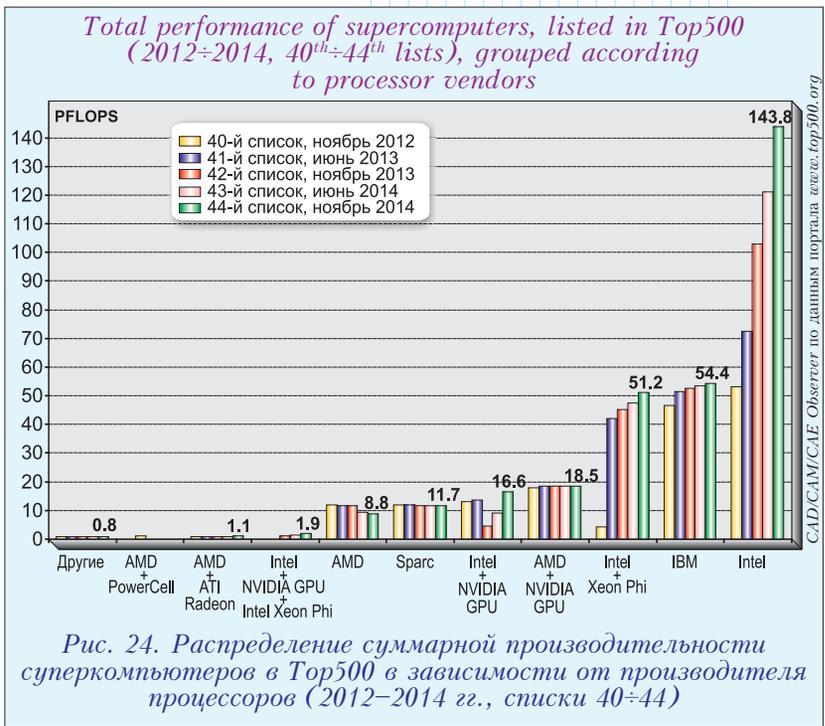
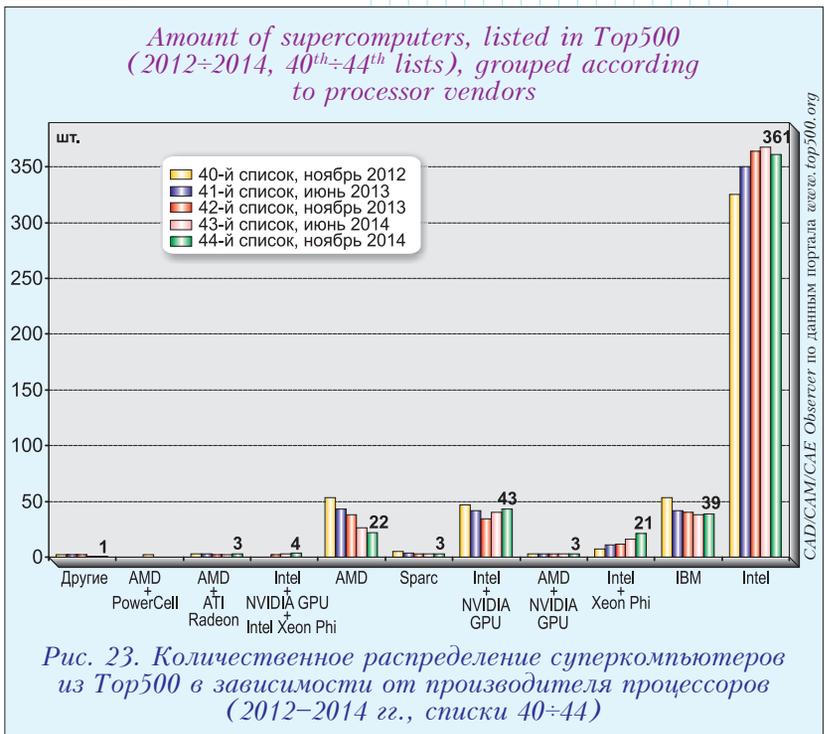
В отношении супервычислителей со второй и третьей комбинацией процессоров и ускорителей радикальных изменений не произошло: для малочисленной (всего три системы) комбинации “*AMD + NVIDIA GPU*” – 23.1 Pflops, а для сочетания “*Intel + NVIDIA GPU*” – 16.6 Pflops.

Наибольшая суммарная производительность у гибридных суперкомпьютеров, в которых применяется сочетание “*Intel + Xeon Phi*” – 54.4 Pflops (число систем – 21)

В сентябре 2013 года в 21-м списке российского Top50 гибридную архитектуру имеет 21 система из 50-ти (рис. 25); год и два года назад таких было 18 и 15 соответственно. Наиболее популярной является комбинация “*Intel + NVIDIA GPU*” – 19 систем (годовой прирост +3 системы);

комбинация “*Intel + Xeon Phi*” использована при строительстве двух систем.

Растущая популярность гибридных систем вдохновляет на новые разработки. Недавний анонс приоткрыл планы *IBM* и *NVIDIA*: два новых суперкомпьютера в Окриджской национальной лаборатории, *Summit* и *Sierra*, с быстродействием 150÷300 Pflops будут построены на базе новой архитектуры, сочетающей



Amount of supercomputers, listed in Russian Top50 (2012÷2014, 17th÷21st lists), grouped according to processor vendors

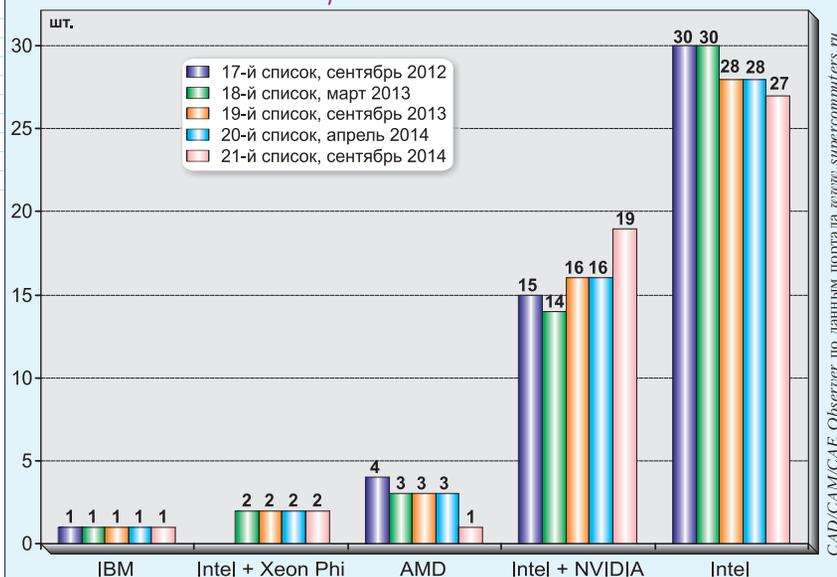


Рис. 25. Сравнение количества суперкомпьютеров на базе процессоров различных производителей в российском Top50 (2012–2014 гг., списки 17÷21)

перспективные процессоры “Голубого гиганта” POWER 9 и графические ускорители NVIDIA Volta.

Ведущие производители процессоров для суперкомпьютеров

Поставщиком процессоров для подавляющего большинства суперкомпьютеров, входящих в Top500, является компания Intel (рис. 23). В ноябре 2013 года, июне и ноябре 2014 года количество систем на базе интеловских процессоров составляло 412, 427 и 429 соответственно (в том числе, гибридных систем – 48, 59, 58).

На втором месте идет компания AMD – 43, 31 и 28 системы (в том числе гибридных систем – 5, 5, 6) соответственно.

Третье место занимает IBM – 42, 38 и 39 систем (надо отметить, что две гибридные системы от IBM в ноябре 2012 года учитываются в подсчетах для компании AMD).

В активе компании Fujitsu – по 3 системы во всех трех списках (гибридные отсутствуют).

Сравнение по показателю суммарной производительности систем, построенных на процессорах соответствующих вендоров, для последних трех списков также оказывается в пользу Intel – 153.9, 179.2 и 213.5 Pflaps (рис. 24), включая весомый вклад гибридных систем (50.9, 58 и 69.7 Pflaps).

Компания IBM поднялась на второе место – 52.6, 53.4 и 54.4 Pflaps.

На третьем месте – AMD, для которой цифры получились следующими: 31.0, 28.7 и

28.4 Pflaps; вклад гибридных систем составляет 19.3, 19.3 и 19.6 Pflaps соответственно.

Четвертое место досталось Fujitsu – 11.7, 11.7 и 11.7 Pflaps.

Компания Intel является лидером по количеству и суммарному быстродействию суперкомпьютеров, построенных на базе её процессоров и сопроцессоров – 429 систем и 213.5 Pflaps.

Интеловские процессоры распределяются по следующим семействам: Clovertown, Harpertown, Nehalem, Westmere, Haswell, IvyBridge и SandyBridge. Все процессоры “Голубого гиганта” принадлежат к семейству POWER, процессоры AMD – к семейству AMD Opteron, а процессоры Fujitsu имеют архитектуру SPARC.

Как свидетельствует российский рейтинг Top50, ведущими производителями процессоров, на базе которых построены суперкомпьютеры, установленные на территории РФ, являются три компании – Intel, AMD и IBM (рис. 25). В 21-м списке зафиксировано, что подавляющее большинство (48 систем) базируется на интеловских процессорах, включая 21 гибридную систему; на базе микроприборов от AMD и IBM построено всего по одной системе. ☺

Литература

1. Павлов С. Системы высокопроизводительных вычислений в 2013–2014 годах: обзор достижений и анализ рынков. Часть I. Серверы, компьютеры, планшетики, смартфоны // CAD/CAM/CAE Observer, 2014, №5, с. 59–69.
2. Павлов С. Системы высокопроизводительных вычислений в 2013–2014 годах: обзор достижений и анализ рынков. Часть II. Процессоры // CAD/CAM/CAE Observer, 2014, №6, с. 65–73.
3. Павлов С. Системы высокопроизводительных вычислений в 2012–2013 годах: обзор достижений и анализ рынков. Часть III. Суперкомпьютерные рейтинги // CAD/CAM/CAE Observer, 2013, №8, с. 77–89.

Об авторе:

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