

Системы высокопроизводительных вычислений в 2012–2013 годах: обзор достижений и анализ рынков

Часть III. Суперкомпьютерные рейтинги

Сергей Павлов, Dr. Phys.

В третьей части обзора мы обратимся к данным мирового суперкомпьютерного рейтинга **Top500** (www.top500.org). Напомним, что с момента основания этого рейтинга минул уже 21 год. За это время с полугодовой периодичностью было опубликовано 42 списка, новейший из которых появился 18 ноября 2013 года. Информация о достижениях в сфере *High-Performance Computing* (HPC) и тенденции развития инструментов для высокопроизводительных вычислений (ВПВ) в наших обзорах анализируется с 2005 года. Обзоры свободно доступны на сайте нашего журнала www.cad-cae.ru. Еще раз отметим, что достижения рынка ВПВ в России нами оцениваются через призму *Top500* в контексте прогресса этой отрасли в мировом масштабе, поэтому списки российского рейтинга Top500 автономно не анализируются.

За год, прошедший после обнародования в ноябре 2012 года юбилейного, 40-го списка, суммарное быстродействие систем, включенных в *Top500*,

Tianhe-2 or Milky Way-2 (China) with real speed 33.8627 PFLOPS, the champion of world's supercomputers Top500 list in June and November 2013, have been mounted with 32000 processors Intel Xeon E5-2692 (12 cores, 2.2GHz) and 48000 coprocessors Intel Xeon Phi (57 cores, 1.1 GHz)

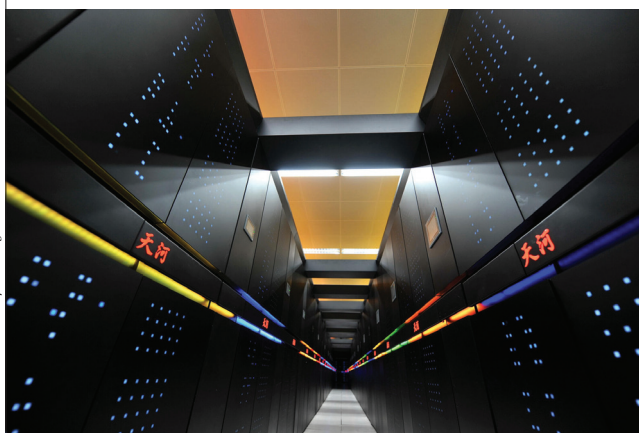


Рис. 1. *Tianhe-2* или *Milky Way-2* (Китай) с реальным быстродействием 33.8627 PFLOPS, лидер суперкомпьютерного рейтинга *Top500* в июне и ноябре 2013 года, смонтирован из 32 000 процессоров Intel Xeon E5-2692 (12 ядер, 2.2 GHz) и 48 000 сопроцессоров Intel Xeon Phi (57 ядер, 1.1 GHz)

Планируемая структура комплексного обзора:

Часть I. Серверы, компьютеры, планшетики, смартфоны [1]

Часть II. Процессоры для HPC-систем.

EDA-системы [2]

Часть III. Суперкомпьютерные рейтинги

Часть IV. Итоги года

Часть V. Прогнозы развития IT-технологий.

Информация о появлении прорывных технологий или рекордных достижений будет включаться в ближайшую по времени часть статьи.

выросло более чем на половину (54.4%) – с 162 до 250 петафлопсов (1 PFLOPS = 10^{15} FLOPS). Петафлопсовый барьер реального (по LINPACK) быстродействия преодолел уже 31 суперкомпьютер из пятисот; эти системы установлены в восьми странах: США (13 систем), Япония (4), Великобритания (3), Германия (3), Китай (3), Франция (3), Италия (1) и Швейцария (1). Прирост за прошедший год (сравни с [3]) составил 8 систем, которые распределились по миру следующим образом: США (+3), Великобритания (+1), Германия (+1), Китай (+1), Франция (+1), Швейцария (+1).

Если оценивать по пиковой производительности, то к супервычислителям петафлопсного класса относятся еще 19 систем. Они распределяются так: США (9), Китай (3), Германия (2), Австралия (1), Испания (1), Россия (1), Саудовская Аравия (1) и Япония (1). Прирост за год (сравни с [3]) составил 10 систем – США (+7), Германия (+1), Испания (+1), Япония (+1).

Таким образом, суперкомпьютеры петафлопсного класса составляют уже десятую часть новейшего списка рейтинга *Top500*.

Суммарное быстродействие систем, включенных в *Top500*, составило 250 PFLOPS. К петафлопсному классу (по пиковому быстродействию) относится 51 система из 500.

Теперь приведем основные параметры нового рекордсмена и девяти других систем, образующих “горячую десятку” новейшего, 42-го списка *Top500* (табл. 1).

Лидеры рейтинга *Top500*

1 Возглавляет 42-й список *Top500* китайский суперкомпьютер **Tianhe-2** (рис. 1), название

которого на английском языке звучит как **Milky Way-2**. За прошедшие с июня 2013 года полгода, когда китайское изделие второй раз в истории рейтингов *Top500* “надело желтую майку лидера”, рекордсмен освоился на 1-й ступеньке пьедестала и продолжает функционировать с рекордным уровнем реальной производительности – **33.8627 PFLOPS**. Пиковая (расчетная) производительность составляет 54.9024 PFLOPS, а вычислительная эффективность (отношение реальной производительности к пиковой) – 61.68%.

Система состоит из 32-х тысяч 12-ядерных процессоров *Intel Xeon E5-2692* с тактовой частотой 2.2 GHz и 48-ми тысяч сопроцессоров *Intel Xeon Phi 31S1P* с 57-ю ядрами и тактовой частотой 1.1 GHz, образующих 16 000 узлов по 2 процессора и 3 сопроцессора; общее число процессорных ядер – 3 120 000. Разработка суперкомпьютера и его инсталляция выполнялись в Национальном университете оборонных технологий (*National University of Defense Technology – NUDT*) в гор. Чанша.

Напомним, что первая китайская система *Tianhe-1A* стала лидером *Top500* в 36-м списке. Таким образом, за истекшее время

Рекордное быстродействие 33.8627 PFLOPS (по LINPACK) демонстрирует китайский суперкомпьютер *Tianhe-2*, сочетающий в себе 3 120 000 ядер процессоров и сопроцессоров от компании *Intel*.

быстродействие китайского рекордсмена выросло **более чем в 13 раз**.

В рейтинге *Green500* суперкомпьютер *Tianhe-2* с показателем 1901.54 MFLOPS/W занимает 39-е место по энергоэффективности среди всех систем, включенных в *Top500*, и 7-е – среди систем первой десятки *Top500*.

2 Лидер 40-го списка *Top500* [3], суперкомпьютер **Titan** от американской компании *Cray*, уступив почти вдвое по “шустрости” лидеру, теперь опустился на 2-е место. Его реальное быстродействие – **17.59 PFLOPS**, пиковое – 27.113 PFLOPS, вычислительная эффективность – 64.9%.

Система *Titan* является гибридной: она построена на базе архитектуры *Cray XK7* с применением 16-ядерных процессоров *Opteron 6274*

Таблица 1. Первая десятка международного суперкомпьютерного рейтинга *Top500* в ноябре 2013 года в сравнении с ноябрем 2012 года

Место в рейтинге		Реальная производительность PFLOPS		Общее число процессорных ядер	Название компьютера, архитектура, применяемые процессоры и ускорители	Компания-производитель	Организация, где инсталлирован суперкомпьютер
1	–	33.86	–	3120000	Tianhe-2 (NUDT TH-IVB-FEP) <i>Intel Xeon E5-2692</i> (12 ядер, 2.2 GHz) <i>Intel Xeon Phi 31S1P</i>	NUDT (Китай)	Национальный университет оборонных технологий (NUDT) (Чанша, Китай)
2	1	17.59	17.59	560640	Titan (Cray XK7) <i>Opteron 6274</i> (16 ядер, 2.2 GHz) <i>NVIDIA K20x</i>	Cray (США)	Окридская национальная лаборатория (штат Теннесси, США)
3	2	17.17	16.32	1572864	Sequoia (BlueGene/Q) <i>Power BQC</i> (16 ядер, 1.6 GHz)	IBM (США)	Ливерморская национальная лаборатория им. Э. Лоуренса (штат Калифорния, США)
4	3	10.51	10.51	705024	K computer <i>SPARC64 VIIIfx</i> (8 ядер, 2.0 GHz)	Fujitsu (Япония)	Институт физико-химических исследований (Кобе, Япония)
5	4	8.59	8.16	786432	Mira (BlueGene/Q) <i>Power BQC</i> (16 ядер, 1.6 GHz)	IBM (США)	Аргонская национальная лаборатория (штат Иллинойс, США)
6	114	6.27	0.22	115984	Piz Daint (Cray XC30) <i>Xeon E5-2670</i> (8 ядер, 2.6 GHz) <i>NVIDIA K20x</i>	Cray (США)	Швейцарский национальный суперкомпьютерный центр (Лугано, Швейцария)
7	7	5.17	2.66	462462	Stampede (PowerEdge C8220) <i>Intel Xeon E5-2680</i> (8 ядер, 2.7 GHz) <i>Intel Xeon Phi SE10P</i>	Dell (США)	Техасский центр передовых компьютерных технологий (Остин, штат Техас, США)
8	5	5.01	4.14	458752	JUQUEEN (BlueGene/Q) <i>Power BQC</i> (16 ядер, 1.6 GHz)	IBM (США)	Исследовательский центр (Юлих, федеральная земля Северный Рейн – Вестфалия, ФРГ)
9	64	4.29	0.45	393216	Vulcan (BlueGene/Q) <i>Power BQC</i> (16 ядер, 1.6 GHz)	IBM (США)	Ливерморская национальная лаборатория им. Э. Лоуренса (штат Калифорния, США)
10	6	2.90	2.90	147456	SuperMUC (iDataPlex DX360M4) <i>Intel Xeon E5-2680</i> (8 ядер, 2.7 GHz)	IBM (США)	Суперкомпьютерный центр им. Лейбница (Гархинг, федеральная земля Бавария, ФРГ)

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

Энергоэффективность системы Titan составляет 2 142.77 MFLOPS/W, что позволяет ей занять 6-е место в рейтинге Green500 по этому показателю среди систем из первой десятки Top500, а также 32-е место среди всех систем, включенных в Top500. Год назад по этому показателю Titan был лидером десятки и бронзовым призёром юбилейного списка [3].

3 Рекордсмен 39-го списка – супервычислитель **Sequoia** от компании IBM – теперь занимает третью ступеньку. В сравнении с показателями годичной давности, за счет повышения реальной производительности (с 16.325 PFLOPS до **17.173 PFLOPS**) при неизменной пиковой (20.133 PFLOPS), у “Секвойи” на несколько процентов подросла вычислительная эффективность – с 81.1% до 85.3%. По этому показателю она по-прежнему превосходит соседей по пьедесталу почета – Tianhe-2 и Titan.

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

Энергоэффективность 2176.58 MFLOPS/W обеспечила “Секвойе” 23-е место в рейтинге Green500 среди всех супервычислителей, включенных в 42-й список Top500, и 4-е место в первой десятке. Год назад у нее были 27-е и 4-е место соответственно.

4 Лидер обоих списков 2011 года, японский “**K computer**” компании Fujitsu, построенный на площадке Института физико-химических исследований (RIKEN) в побратиме Риге городе Кобе, съехал еще на одну позицию вниз в сравнении с прошлогодним юбилейным списком и занимает теперь только 4-е место.

Напомним, что этот суперкомпьютер первым в мире преодолел рубеж в 10 квадриллионов операций с плавающей точкой в секунду и достиг реальной производительности **10.51 PFLOPS**, весьма близкой к пиковому значению (11.28 PFLOPS), что дает высокое значение вычислительной эффективности – 93.2%. По этому показателю “K computer” по-прежнему занимает 1-е место в первой десятке, а в целом по Top500 – 9-е. Система состоит из 88 128 восьмиядерных процессоров SPARC64 VIIIfx, общее число ядер – 705 024.

По энергоэффективности этот суперкомпьютер с показателем 830.18 MFLOPS/W может претендовать лишь на 122-е место. Год назад его место тоже не было высоким (80-е). Ну а в первой десятке Top500 “K computer” – замыкающий.

5 С четвертого на пятое место переместился суперкомпьютер **Mira** компании IBM, построенный для Аргонской национальной лаборатории (Argonne National Laboratory). Система

Implementation segments of supercomputers:
amount of systems, listed in Top500
(2011÷2013, 38th÷42nd lists)

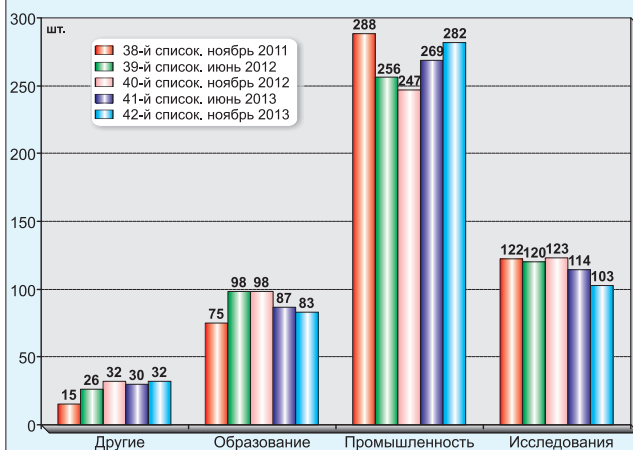


Рис. 2. Области применения суперкомпьютеров: количество систем, включенных в Top500 (2011–2013 гг., списки 38÷42)

Implementation segments of supercomputers:
total performance of systems, listed in Top500
(2011÷2013, 38th÷42nd lists)

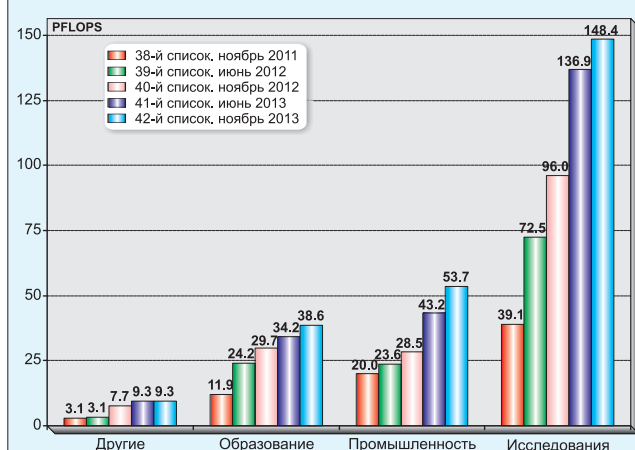


Рис. 3. Области применения суперкомпьютеров: суммарная производительность систем, включенных в Top500 (2011–2013 гг., списки 38÷42)

Shares of amount of systems, which correspond to implementation segments of supercomputers, listed in Top500: 2013, 42nd list



Рис. 4. Количественное распределение систем из Top500 по областям применения в 2013 г. (список 42)

Shares of total performance, which correspond to implementation segments of supercomputers, listed in Top500: 2013, 42nd list

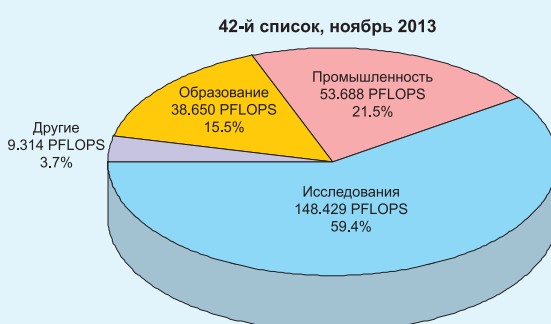


Рис. 5. Распределение суммарной производительности систем из Top500 по областям применения суперкомпьютеров в 2013 г. (список 42)

является уменьшенным клоном *Sequoia*: базируется на той архитектуре, тех же процессорах, обладает в точности той же вычислительной и энергоэффективностью, что и бронзовый призер. Отличается лишь общее число ядер – 786 432. Как и у “Секвойи”, реальное быстродействие системы *Mira* немного подросло – до **8.587 PFLOPS**.

6 Шестую позицию 42-го списка *Top500* занял супервычислитель с гордым именем **Piz Daint**, построенный американской компанией *Cray* в гор. Лугано для Швейцарского национального суперкомпьютерного центра (*Swiss National Supercomputing Centre – SNSC*).

Впервые *Piz Daint* появился в 40-м списке рейтинга *Top500* – тогда он имел производительность 0.216 PFLOPS. Через полгода, в июне 2013 года, 41-й список зафиксировал уже 0.627 PFLOPS. И вот теперь реальное быстродействие достигло **6.271 PFLOPS**, что позволило этой системе занять место в первой десятке, а также вывело её на 1-е место среди суперкомпьютеров, установленных на территории Европы.

Piz Daint имеет рекордное для суперкомпьютеров, установленных на территории Европы, быстродействие – 6.271 PFLOPS.

Суперкомпьютер *Piz Daint* относится к крайневскому семейству *Cray XC30*, имеет гибридную архитектуру, допускает масштабирование вплоть до суммарной производительности на уровне 100 PFLOPS. К настоящему времени общее число вычислительных ядер достигло 115 984, включая 73 808 ядер графических процессоров. Система сочетает 8-ядерные процессоры *Xeon E5-2670* (тактовая частота 2.6 GHz) от компании *Intel* и ускорители *K20x* компании *NVIDIA*.

В рейтинге *Green500* эта система с показателем 2629.1 MFLOPS/W занимает высокое 5-е место среди всех, включенных в *Top500*, а в первой десятке *Top500* она является лидером по энергоэффективности.

7 Седьмое место в 42-м списке рейтинга *Top500* занимает гибридный суперкомпьютер **Stampede** с архитектурой *PowerEdge C8220*, построенный компанией *Dell* для Техасского центра передовых технологий (*Texas Advanced Computing Center*).

Год назад реальное быстродействие первой очереди системы достигало 2.66 PFLOPS, а пиковое – 3.956 PFLOPS (вычислительная эффективность 54.6%). Полгода назад реальное быстродействие выросло до **5.168 PFLOPS**, пиковое – до 8.52 PFLOPS, а вычислительная эффективность – до 60.7%.

Implementation segments of supercomputers, listed in Russian Top50 (2011÷2013, 15th÷19th lists)

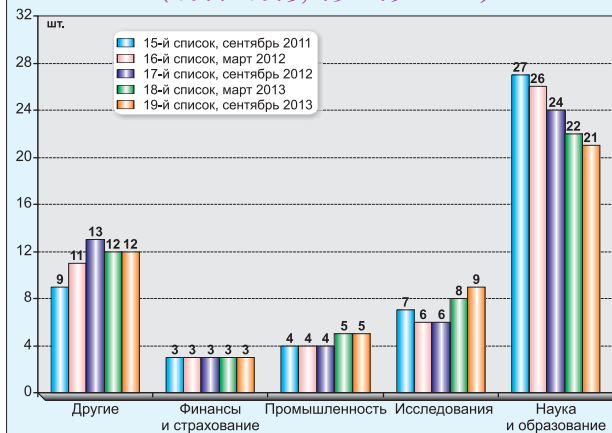


Рис. 6. Области применения суперкомпьютеров, включенных в российский Top50 (2011–2013 гг., списки 15÷19)

Amount of supercomputers, listed in Top500, installed in developed and emerging regions (2011÷2013, 38th÷42nd lists)

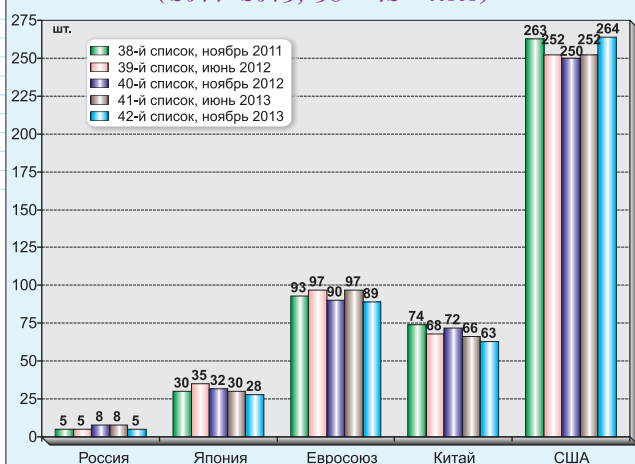


Рис. 7. Количество суперкомпьютеров из Top500 в развитых и развивающихся регионах мира (2011–2013 гг., списки 38÷42)

Суперкомпьютер построен на базе восьми-ядерных процессоров *Intel Xeon E5-2680* с тактовой частотой 2.7 GHz и сопроцессоров *Intel Xeon Phi SE10P*. Общее число ядер составляет 462 462, из них 366 366 – сопроцессорные.

Энергоэффективность 1145.92 MFLOPS/W обеспечила системе 48-е место в рейтинге *Green500* среди всех суперкомпьютеров, включенных в 42-й список *Top500*, а также 4-е место в первой десятке.

8 На восьмом месте в 42-м списке рейтинга *Top500* находится супервычислитель **JuQUEEN**, собранный в 2012 году в Исследовательском центре Юлих (*Forschungszentrum Juelich*) в Германии. Очередной апгрейд системы был сделан в июне 2013 года, и теперь её реальное быстродействие увеличилось с 4.141 до **5.009 PFLOPS**, пиковое – с 5.033 до 5.872 PFLOPS, вычислительная эффективность – с 82.3% до 85.3%.

JuQUEEN имеет ту же архитектуру и построена на тех же процессорах, что и *Sequoia*, поэтому её можно считать уменьшенным клоном с числом ядер 458 752. Энергоэффективность системы (2176.82 MFLOPS/W) на европейской земле оказалась чуть лучше, чем у *Sequoia* (2176.58 MFLOPS/W). В рейтинге *Green500* система **JuQUEEN** занимает 17-е место среди всех суперкомпьютеров, включенных в 42-й список *Top500*, а в первой десятке *Top500* – 3-е место.

9 Девятая позиция в 42-м списке рейтинга *Top500* досталась суперкомпьютеру **Vulcan** из Ливерморской национальной лаборатории им. Э. Лоуренса (*Lawrence Livermore National*

Total performance of supercomputers, listed in Top500, installed in developed and emerging regions (2011÷2013, 38th÷42nd lists)

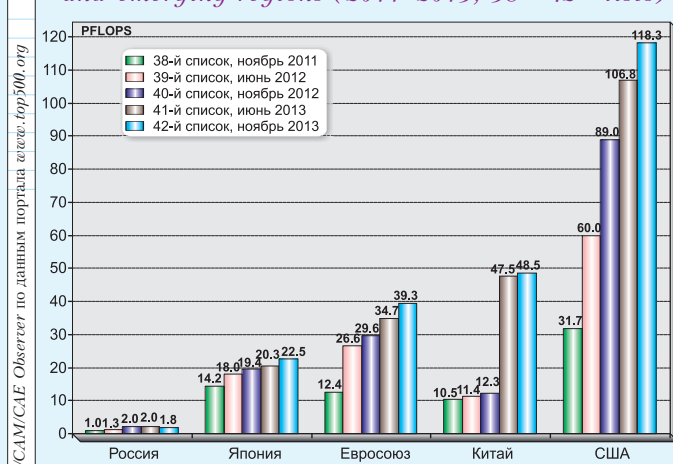


Рис. 8. Суммарная производительность суперкомпьютеров из Top500 в развитых и развивающихся регионах мира (2011–2013 гг., списки 38÷42)

Laboratory) в Калифорнии. К июню 2013 года был завершён апгрейд, что позволило системе, занимавшей год назад 64-е место с показателем реального быстродействия 0.345 PFLOPS , войти в первую десятку с показателем **4.293 PFLOPS**. Пиковая производительность теперь составляет 5.033 PFLOPS , а вычислительная эффективность – 85.3%.

По всей видимости, **Vulcan** – это ещё один уменьшенный клон системы *Sequoia* с числом ядер 393 216. Его энергоэффективность (2177.13 MFLOPS/W) также чуть лучше, чем у *Sequoia*. В рейтинге *Green500* система **Vulcan** занимает 16-е место среди всех суперкомпьютеров, включенных в 42-й список *Top500*, а в первой десятке *Top500* – 2-е место.

10 Замыкает десятку суперкомпьютер **SuperMUC**, установленный в Суперкомпьютерном центре им. Лейбница (*Leibniz Supercomputing Centre*) в Гархинге (федеральная земля Бавария, ФРГ). Эта система, созданная компанией *IBM*, имеет архитектуру *iDataPlex DX360M4* на базе 8-ядерных процессоров *Intel Xeon E5-2680* с тактовой частотой 2.7 GHz . Общее число ядер – 147 456, реальное быстродействие – **2.897 PFLOPS**, пиковое – 3.185 PFLOPS , вычислительная эффективность – 91%.

По энергоэффективности (846.42 MFLOPS/W) **SuperMUC** может претендовать лишь на 117-е место, а первой десятке *Top500* – на 9-е место.

Рекордсмен первой десятки *Top500* – компания *IBM*. Суммарная производительность пяти её суперкомпьютеров составляет 37.959 PFLOPS .

Regional shares of amount of supercomputers for 2009÷2013 (Top500, 33th÷42nd lists)

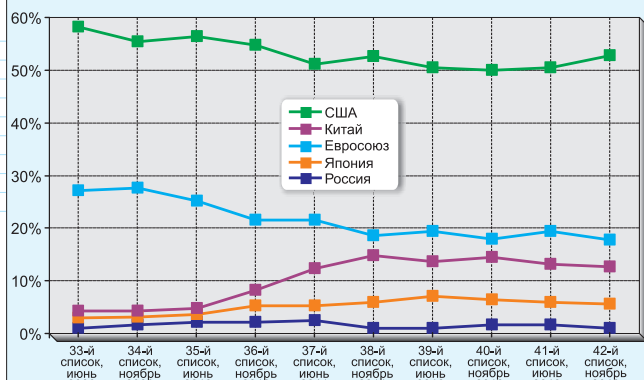


Рис. 9. Изменение региональных долей от общего количества суперкомпьютеров из Top500 в период 2009–2013 гг. (списки 33÷42)

Regional shares of total performance of supercomputers for 2009÷2013 (Top500, 33th÷42nd lists)

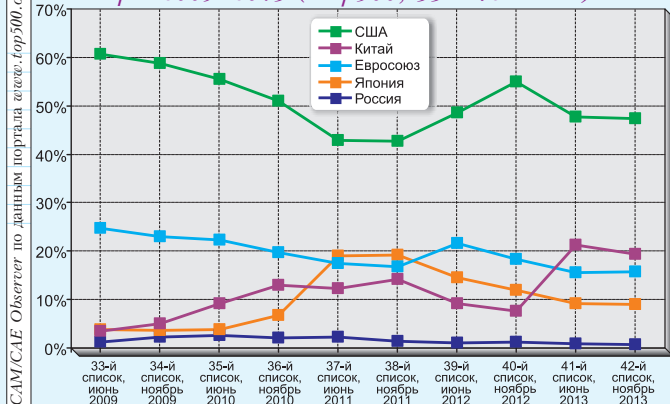


Рис. 10. Изменение региональных долей от суммарной производительности суперкомпьютеров из Top500 в период 2009–2013 гг. (списки 33÷42)

Shares of amount of supercomputers, installed in developed and emerging regions, listed in Top500 – 2013, 42nd list

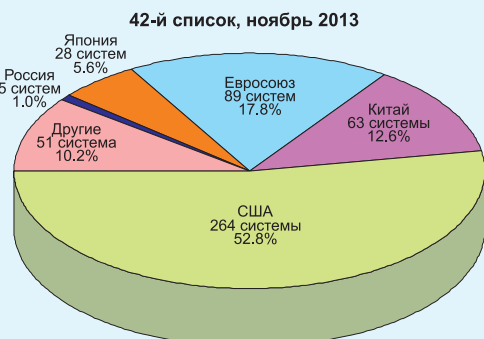


Рис. 11. Региональное распределение суперкомпьютеров из Top500 в 2013 г. (список 42)

Shares of total performance of supercomputers, installed in developed and emerging regions, listed in Top500 – 2013, 42nd list

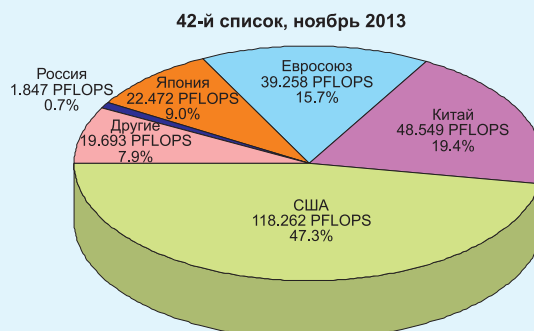


Рис. 12. Региональное распределение суммарной производительности суперкомпьютеров из Top500 в 2013 г. (список 42)

Если говорить о производителях, лидирующих в Top500 суперкомпьютеров, то в 2013 году в обоих списках рекорсменом является компания IBM: и в 41-м, и в 42-м списках в первую десятку входили пять её систем с общей производительностью 37.959 PFLOPS.

Области применения систем ВПВ

Наибольшее количество суперкомпьютеров из Top500 работает в промышленности (industry): в 42-м списке таких 282 (56.4% от общего числа систем в рейтинге). Для научных исследований (research) применяются 103 системы (20.6%), а в образовании (academic) – 83 или 16.6% (рис. 2, 4). По сравнению с юбилейным 40-м списком, число систем в сфере научных исследований уменьшилось – год назад там были задействованы 123 системы. Значительные изменения произошли в промышленности, где поменялась тенденция: уменьшение числа

Total performance of supercomputers, listed in Russian Top50 (2010÷2013, 13th÷19th lists)

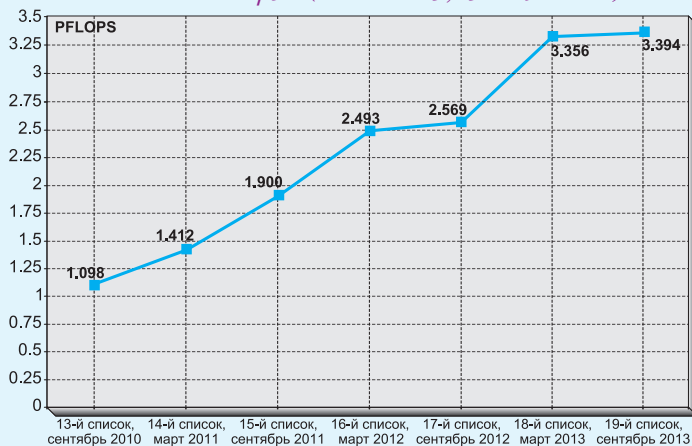


Рис. 13. Динамика роста суммарной производительности суперкомпьютеров, включенных в российский Top50, за период 2010–2013 гг. (списки 13÷19)

систем (с 288-ми до 247-ми в 38-м и 40-м списках) сменилось увеличением до 282 систем в 42-м списке. В сфере образования, наоборот, рост (с 75-ти до 98-ми в 38-м и 40-м списках) сменился уменьшением до 83 систем в 42-м списке.

По суммарной производительности впереди идут системы для науки – 148.4 PFLOPS (59.4% от общей производительности всех систем, включенных в рейтинг). На промышленность работает совокупная вычислительная мощность 53.7 PFLOPS (21.5%), а на образование – 38.6 PFLOPS или 15.5% (рис. 3, 5). Таким образом, за год произошёл значительный прирост суммарной производительности: в 40-м списке соответствующие показатели были гораздо более скромными: 96, 28.5 и 27.9 PFLOPS. Следует также отметить, что в 41-м и 42-м списках промышленность обошла сферу образования по этому важному параметру. При этом в ноябре 2013 года сфера исследований обгоняет промышленность и образование в 2.8 и 3.8 раза соответственно. Таким образом, как мы видим, тенденция сохраняется. Это свидетельствует о том, что опережающими темпами развивается сектор, обеспечивающий перспективное развитие всех отраслей, где будут востребованы суперкомпьютеры.

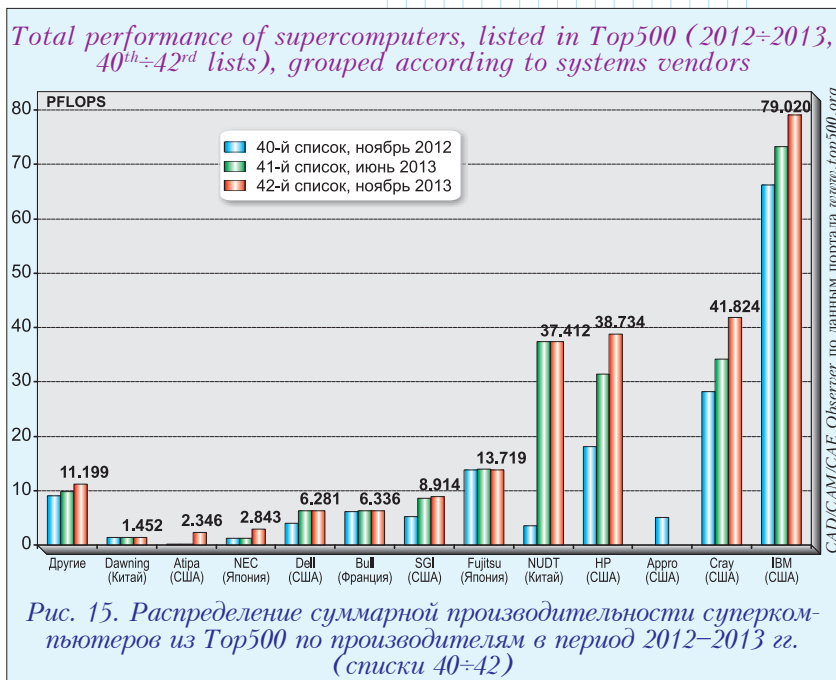
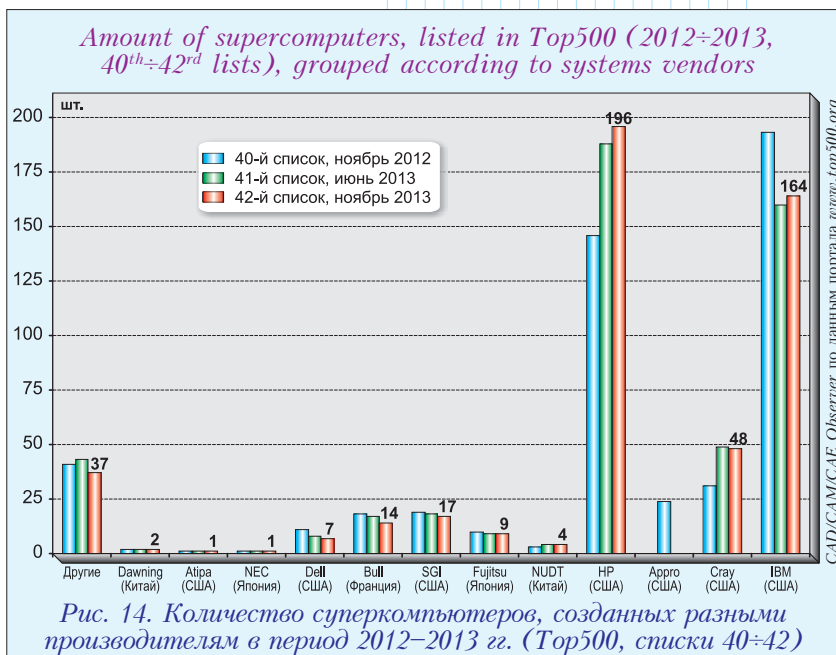
В группу “другие” на рис. 2÷5 объединены области применения, которые не столь велики – как по числу инсталляций, так и по суммарной производительности. Туда попадают суперкомпьютеры, являющиеся объектом экспериментов, которые проводятся их разработчиками (*vendor*); системы, применяемые для решения задач распознавания и классификации (*classified*), а также для задач государственного управления (*government*).

Согласно данным российского рейтинга Top50 (рис. 6), в сентябре 2013 г. в научных исследованиях в России было задействовано 9 систем, на промышленность работало 5 систем, а в области финансов и страхования – 3 системы. При этом в сфере российского высшего образования и науки сейчас занят 21 супервычислитель, тогда как марте 2011 года в этой сфере работало 30 систем, то есть на 9 больше. Для сравнения с

состоянием годичной давности приведем цифры на сентябрь 2012-го: 6, 4, 3 и 24 систем 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 38÷42 рейтинга Top500) наглядно отображены на диаграммах (рис. 7÷13). Тенденции в развитии за последние пять лет (списки 33÷42) регионов, построивших супервычислители петафлопсного класса



и имеющих амбиции достичь экзафлопсный рубеж, можно проследить на **рис. 9, 10**.

✓ США

По данным на ноябрь 2013 года, в США установлено 264 суперкомпьютера или 52.8% от общего числа систем уровня *Top500* – на 14 систем больше, чем год назад. На протяжении всего периода существования наших обзоров (2005–2013 гг.) доля США неизменно превышала половину.

В ноябре 2013 года суммарная производительность упомянутых 264-ти систем достигла 118.3 *PFLOPS*. За год этот показатель вырос в 1.3 раза – с 89 *PFLOPS*. Доля США в общей производительности *Top500* снова оказалась меньше половины (47.3%), что стало следствием “великого китайского скачка”.

✓ Китай

За прошедший год доля Китая несколько сократилась – с 14.4% (72 системы) в юбилейном 40-м списке до 12.6% (63 системы) в текущем 42-м.

Однако по суммарной производительности топовых систем Китай сейчас занимает 2-ю позицию (впервые это было зафиксировано в 41-м списке), совершив скачок с 4-й позиции (40-й список) и обойдя при этом Евросоюз и Японию, которые не раз занимали вторую строчку. Суммарная производительность за год выросла почти в 4 раза – с 12.4 *PFLOPS* в 40-м списке до 48.5 *PFLOPS* в 42-м. При этом доля КНР вплотную приблизилась к пятой части (19.4%) от общего значения для *Top500*. Виновником столь стремительного перемещения стала инсталляция рекордсмена 41-го и 42-го списков – суперкомпьютера *Tianhe-2*.

На вторую ступеньку в региональной таблице рангах, обойдя Евросоюз и Японию, поднялся Китай с суммарной производительностью систем 48.5 *PFLOPS*.

✓ Евросоюз

Число систем из стран ЕС в 42-м списке *Top500* составило 89 (17.8%). Год назад доля ЕС была практически такой же – 18% (90 систем).

Суммарная производительность 89 систем достигла величины 39.3 *PFLOPS* (15.7% от общего значения для *Top500*), которой оказалось достаточно только для 3-го места. За год суммарная производительность в ЕС увеличилась в 1.3 раза – в ноябре 2012 года этот показатель был равен 29.6 *PFLOPS* (18.3% от общего значения для *Top500*).

Три первых места в ЕС стабильно занимают Германия (13.7 *PFLOPS*, 20 систем), Франция (9.5 *PFLOPS*, 22 системы) и Великобритания (9.1 *PFLOPS*, 23 системы). На долю этих трех стран приходится 73% суперкомпьютеров из *Top500* на территории ЕС и 84% их суммарной производительности.

Отметим, что в 42-й список *Top500* попали супервычислители только 13-ти из 27-ми стран ЕС.

✓ Япония

Число установленных в Стране Восходящего Солнца систем за год уменьшилось с 32-х до 28-ми (с 6.4% до 5.6%), а их суммарная производительность возросла всего в 1.16 раза, что значительно меньше годового темпа роста всего *Top500* в целом (1.54 раза).

Amount of supercomputers, listed in Russian Top50 (2012÷2013, 17th÷19th lists), from world and Russian leading vendors

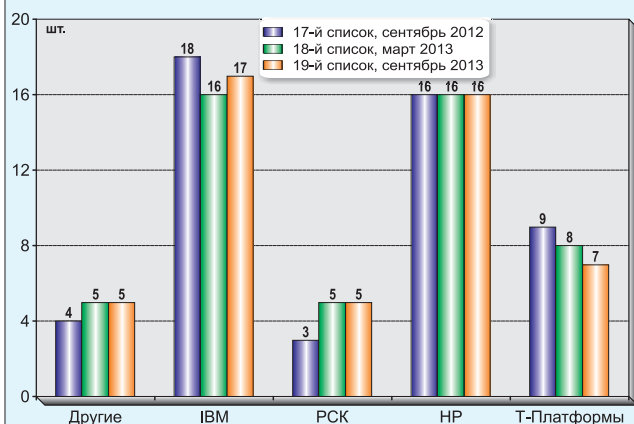


Рис. 16. Количественное распределение суперкомпьютеров, включенных в российский *Топ50*, по производителям (2012–2013 гг., списки 17÷19)

Total performance of supercomputers, listed in Russian Top50 (2012÷2013, 17th÷19th lists), from world and Russian leading vendors

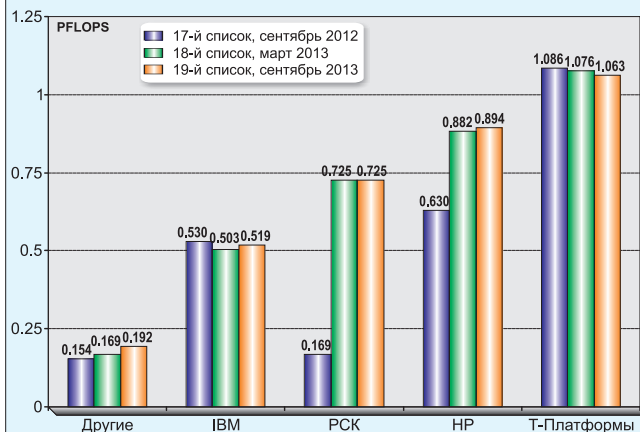


Рис. 17. Распределение суммарной производительности суперкомпьютеров из российского *Топ50* по производителям (2012–2013 гг., списки 17÷19)

В ноябре 2013 года по величине суммарной производительности Япония опустилась на четвертую позицию – 22.5 PFLOPS (9% от общей). Еще два года назад, благодаря тогдашнему рекордсмену “K computer”, эта страна находилась на 2-й позиции с показателем 14.2 PFLOPS (19.2% от общей).

✓ Россия

Россия в 42-м списке Top500 представлена пятью системами (1% от общего числа в Top500) с суммарной производительностью 1.885 PFLOPS (0.74% от общего значения). Год назад в юбилейном 40-м списке Top500 Россия была 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 Top50, можно подсчитать, что в ноябре 2013 года суммарная мощность российских суперкомпьютеров из Top500 составила 54.4% от суммарной производительности всех систем, включенных в сентябре 2013 года в 19-й список Top50 (рис. 13). Аналогичный показатель годичной давности на четверть больше – 77.5%.

По состоянию на ноябрь 2013 года, российский лидер ВПВ – суперкомпьютер “Ломоносов” с реальным быстродействием 901.9 TFLOPS – занимает 37-е место в мире и в 37.5 раз уступает по производительности мировому лидеру, китайскому Tianhe-2. Напомним, что год назад “Ломоносов” занимал 26-е место в мире и в 19.5 раза уступал тогдашнему лидеру – крейвскому суперкомпьютеру Titan.

Будем надеяться, что исправить положение поможет достижение российской компании РСК, продемонстрированное на конференции и выставке SC’13, прошедших в ноябре 2013 года в Денвере (штат Колорадо, США), в рамках которых были объявлены и результаты 42-го списка рейтинга Top500. Речь идет о системе RSC PetaStream с охлаждением процессоров горячей водой. Российские специалисты добились рекордного для отрасли показателя – 1 PFLOPS на стандартную стойку, что почти в 5 раз больше, чем у системы “РСК Торнадо”, занимающей в 42-м списке 84-е место (0.376 PFLOPS) и являющейся прототипом суперкомпьютера с быстродействием 10 PFLOPS для Межведомственного суперкомпьютерного центра Российской Академии наук (МЦ РАН).

Ведущие производители суперкомпьютеров

Показатели ведущих производителей суперкомпьютеров в рейтинге Top500 представлены на рис. 14, 15. Компании

Amount of supercomputers, listed in Top500, 26th÷42nd lists, based on various multicore processors – rise of popularity and the skids for processors with 2,4,6,8 cores for 2005÷2013

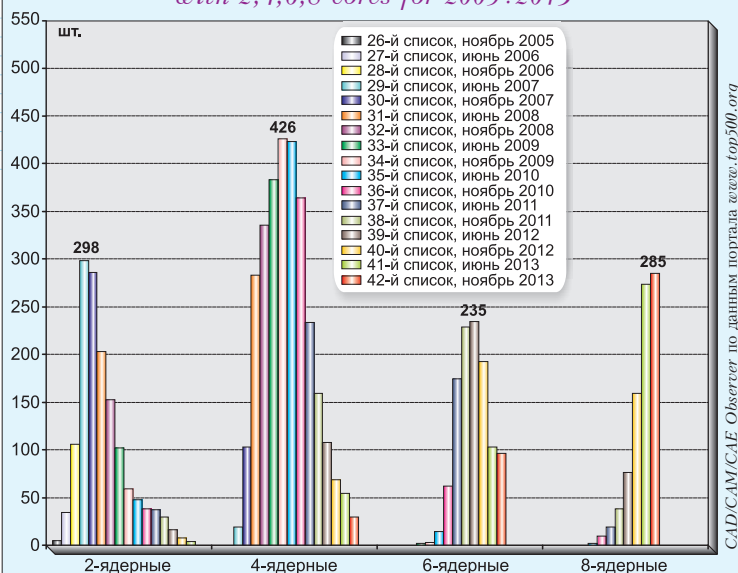


Рис. 18. Рост и падение популярности процессоров с 2, 4, 6 и 8 ядрами в суперкомпьютерах из Top500 в период 2005–2013 гг. (списки 26÷42)

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):

Amount of supercomputers, listed in Top500, 31st÷42nd lists, based on various multicore processors – rise of popularity and the skids for processors with 9,10,12,16 cores for 2008÷2013

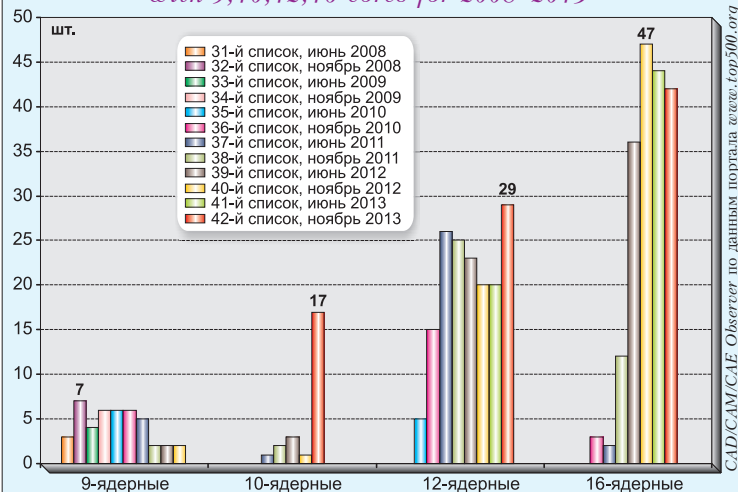


Рис. 19. Изменение популярности процессоров с 9, 10, 12 и 16 ядрами в суперкомпьютерах из Top500 в период 2008–2013 гг. (списки 31÷42)

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*, *NEC*;

3 участники региональных рынков *HPC*-систем – *Atipa Technologies* (гор. Лоренс, штат Канзас, США), *HPC*-подразделение компании *Microtech Computers*; *Dawning*.

Отметим, что из списка выбыла компания *Oracle (Sun)*, у которой число систем, включенных в *Top500*, за год сократилось с шести до трех.

Российская компания “Т-Платформы”, обладающая суперкомпьютером петафлопсного класса по показателю пиковой производительности, но не дотягивающая в *Top500* до суммарной реальной производительности 1 *PFLOPS*, пока выпадает из списка наблюдаемых производителей. Причина связана с неснятым пока с компании “запретом на профессию”, введенным Министерством торговли США [2].

Лидером по числу построенных суперкомпьютеров является компания *Hewlett-Packard* – на её счету 196 систем.

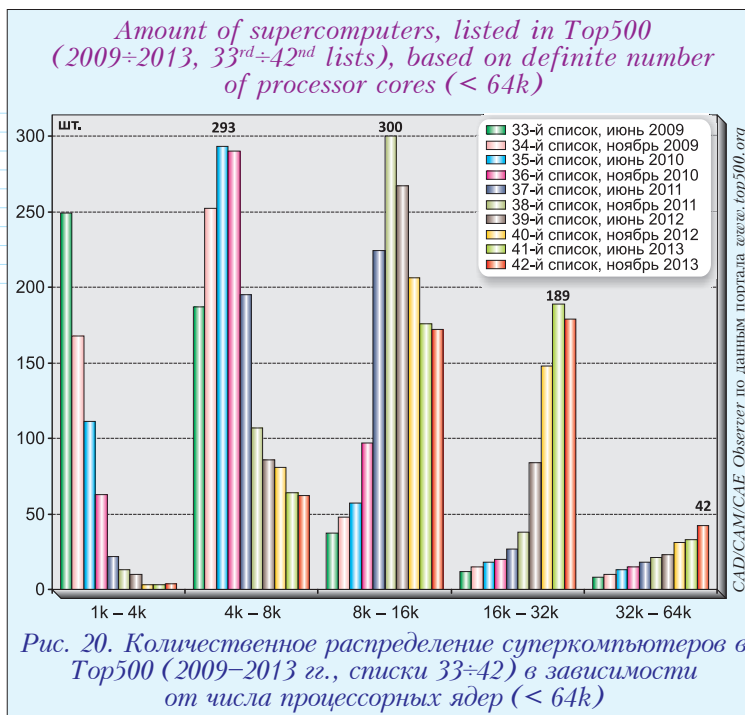
По количеству установленных суперкомпьютеров лидерство в 2013 году захватила *Hewlett-Packard (HP)*. В трех последних списках (ноябрь 2012 г., июнь и ноябрь 2013 г.) показатели *HP* – 146, 188 и 196 систем соответственно (рис. 14). На 2-м месте теперь корпорация *IBM*, построившая 193, 160 и 164 системы из пяти сот соответственно. После приобретения в 2012 году компании *Appro* на стабильное 3-е место вышла компания *Cray*, в активе которой 55 (в сумме с 24-мя от *Appro*), 49 и 48 систем.

Значительно меньшее число установленных систем у компаний *SGI*, *Bull*, *Fujitsu* и *Dell* – в ноябре 2013 года их было 17, 14, 9 и 7 соответственно.

Компания *IBM* является лидером по суммарной производительности суперкомпьютеров – 79 *PFLOPS*.

Бесспорным лидером *Top500* в аспекте суммарной производительности установленных систем является *IBM* (рис. 15). В ноябре 2012 года, в июне и ноябре 2013 года этот важнейший показатель имел значения 66.2, 73.2 и 79 *PFLOPS* соответственно.

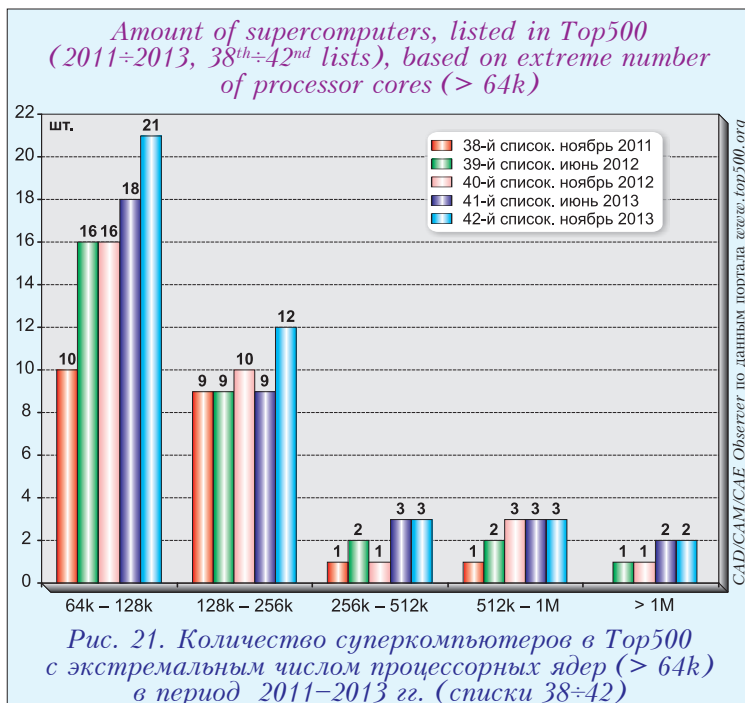
На второй позиции по суммарной производительности в ноябре 2013 года находятся суперкомпьютеры *Cray* – 41.8 *PFLOPS*.



Третью позицию теперь занимают системы от *HP* – 38.7 *PFLOPS*.

На четвертом месте с показателем 37.4 *PFLOPS* оказался *NUDT*, разработчик рекорсмена *Tianhe-2*, которому не удалось задержаться больше одного срока на второй ступеньке, которую он занимал в 41-м списке *Top500*.

Пятую позицию занимает компания *Fujitsu* – 13.7 *PFLOPS*.



Российская компания “Т-Платформы” пока остановилась в своем движении, хотя и продолжает лидировать на российском рынке. В сентябре 2013 года, по данным 19-го списка российского Top50 (рис. 16, 17), она опережает по суммарной производительности (1.063 PFLOPS у 7-ми систем) идущую на втором месте компанию Hewlett-Packard (0.894 PFLOPS у 16-ти систем). На третье место выдвинулась компания РСК (0.725 PFLOPS у 5-ти систем), отодвинувшая на четвертое место компанию IBM (0.519 PFLOPS у 17-ти систем).

По всей видимости, в условиях, когда компания “Т-Платформы” ищет решение своей проблемы с поставками компонентов ВПВ-систем, на лидирующие позиции имеет шанс выдвинуться компания РСК, если в ближайшее время ей удастся завершить проект строительства суперкомпьютера для МСЦ РАН с быстродействием 10 PFLOPS. Судя по продемонстрированным прототипам, эта задача более чем реальная. Значит, всё зависит от ритмичного финансирования проекта.

Если же компании “Т-Платформы” удастся таки в обозримый период успешно справиться с возникшими затруднениями, то во главе российской суперкомпьютерной отрасли могут оказаться сразу два лидера, в арсенале которых будет по одному суперкомпьютеру с быстродействием порядка 10 PFLOPS. Ведь, судя по пресс-релизу в мае 2013 года, компания “Т-Платформы” завершила изготовление прототипа мультитепловского суперкомпьютера, который разрабатывается по заказу Министерства образования и науки Российской Федерации.

Число процессорных ядер в суперкомпьютерах

Статистика использования многоядерных процессоров для построения суперкомпьютеров, входящих в Top500, показана на рис. 18, 19.

В 42-м списке наиболее популярными остаются 8-ядерные процессоры – на их базе построено 285 систем; 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.

Растет популярность 10- и 12-ядерных процессоров, на базе которых построено 17 из 29-ти систем, включенных в 42-й список Top500. Пик использования 16-ядерных процессоров пока приходится на юбилейный 40-й список (47 супервычислителей), тогда как в текущем списке число таких систем сократилось до 42.

Amount of supercomputers, listed in Russian Top50 (2012÷2013, 17th÷19th lists), based on definite number of processor cores

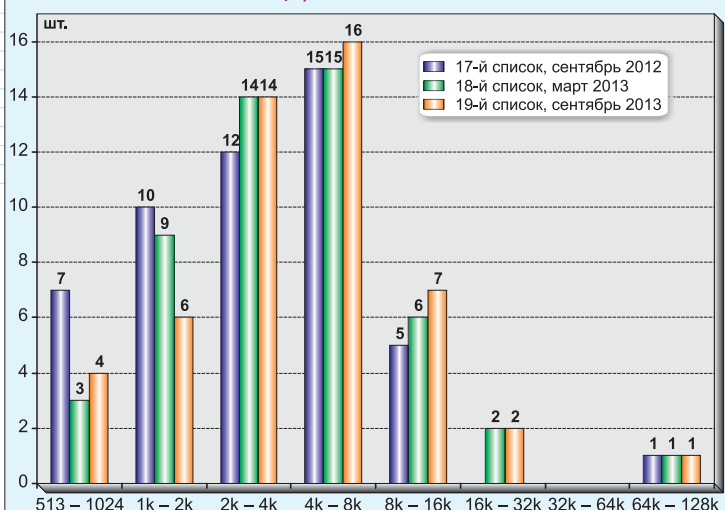


Рис. 22. Количественное распределение суперкомпьютеров из российского Top50 (2012–2013 гг., списки 17÷19) в зависимости от числа процессорных ядер

Суперкомпьютеры на 9-ядерных процессорах в 42-м списке более не представлены.

Наиболее распространенное число ядер в одной системе сейчас лежит в пределах от 16k до 32k, где $k = 1024$. В текущем 42-м списке таких систем оказалось 179, а пик популярности пока приходится на 41-й список – 189 систем (рис. 20).

Суперкомпьютеры с рекордными характеристиками имеют значительно большее число ядер,

Amount of supercomputers, listed in Top500 (2012÷2013, 40th÷42nd lists), with hybrid architecture based on definite number of co-processor and graphic (GPU) processor cores

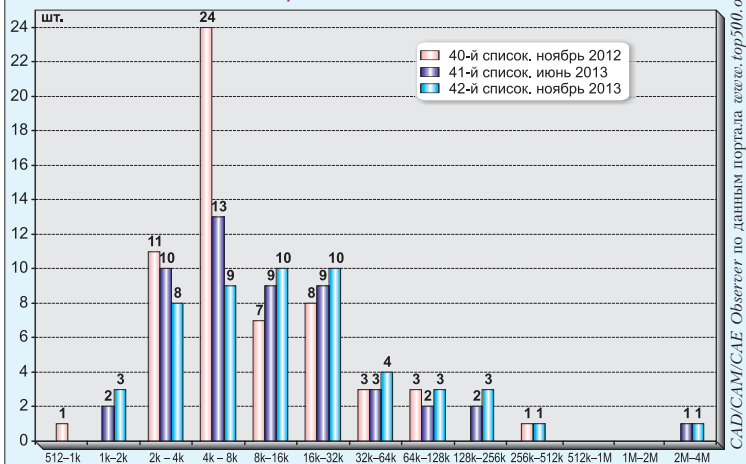


Рис. 23. Количественное распределение входящих в Top500 суперкомпьютеров с гибридной архитектурой в зависимости от числа ядер в сопроцессорах и графических процессорах (2012–2013 гг., списки 40÷42)

превышающее 256k (рис. 21). За два года количество таких систем возросло с двух до восьми. Рекордсменом в этой номинации является *Tianhe-2*, лидер 41-го и текущего списков *Top500*: общее число ядер равно 3 120 000 или 2.98M, где $M = 1024 \times 1024$. 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 ядер (0.53M). Отметим, что из пяти названных систем две являются гибридными.

Для супервычислителей из российского Топ50 этот показатель значительно скромнее (рис. 22). В 19-м списке, опубликованном в сентябре 2013 года, всего две системы из 50-ти имеют от 16k до 32k процессорных ядер (а это наиболее популярная конфигурация в *Top500*). Как и год 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.

Суперкомпьютеры с гибридной архитектурой

В текущем 42-м списке *Top500* доля систем с гибридной архитектурой немного превышает одну десятую – 10.4% (52 системы). Диаграмма на рис. 23 позволяет 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 четыре гибридные системы: *Tianhe-2* (1-е место), *Titan* (2-е место), *Piz Daint* (6-е место) и *Stampede* (7-е место).

В ноябре 2013 года среди гибридных систем наиболее популярной является комбинация “*Intel+NVIDIA GPU*”. Всего в *Top500* таких систем – 42, а год назад их было 47 (рис. 24). На втором месте находится сочетание “*Intel+Xeon Phi*” – 12 суперкомпьютеров; за год с ноября 2012 года рост составил +5 систем.

По суммарной производительности среди гибридных суперкомпьютеров на лидирующей позиции вышла комбинация “*Intel+Xeon Phi*” – 45.2 PFLOPS (рис. 25), охватывающая и рекордсмена *Tianhe-2*. Далее идет малочисленная (всего три системы) комбинация “*AMD+NVIDIA GPU*” – 23.1 PFLOPS.

Amount of supercomputers, listed in Top500 (2011÷2013, 38th÷42nd lists), grouped according to processor vendors

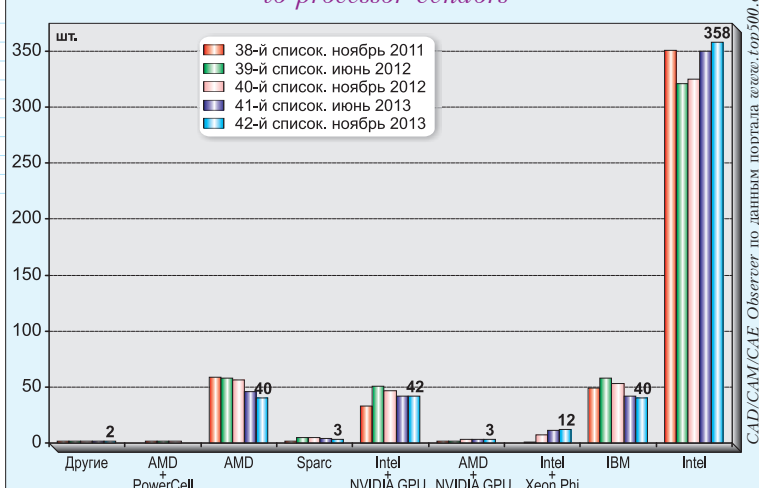


Рис. 24. Количественное распределение суперкомпьютеров из Top500 в зависимости от производителя процессоров (2011–2013 гг., списки 38÷42)

Total performance of supercomputers, listed in Top500 (2011÷2013, 38th÷42nd lists), grouped according to processor vendors

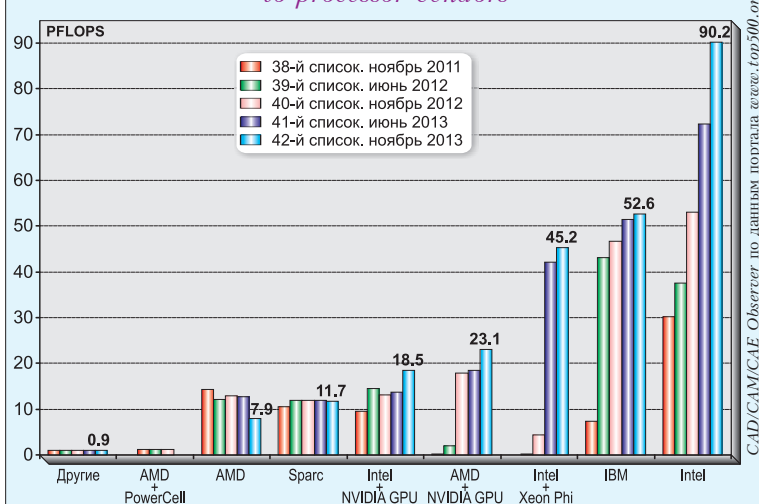


Рис. 25. Распределение суммарной производительности суперкомпьютеров в Top500 в зависимости от производителя процессоров (2011–2013 гг., списки 38÷42)

Сочетание “*Intel+NVIDIA GPU*” находится на третьем месте – 18.5 PFLOPS.

В сентябре 2013 года в 19-м списке российско-го Топ50 гибридную архитектуру имеют 18 систем из 50-ти (рис. 26); год назад таких было 15. Наиболее популярной является комбинация “*Intel+NVIDIA GPU*” – 16 систем, комбинация “*Intel+Xeon Phi*” использована при строительстве двух систем.

Как видно из диаграмм, популярность гибридных систем растет. Для подтверждения тезиса приведем два недавних события.

Amount of supercomputers, listed in Russian Top50 (2011÷2013, 15th÷19th lists), grouped according to processor vendors

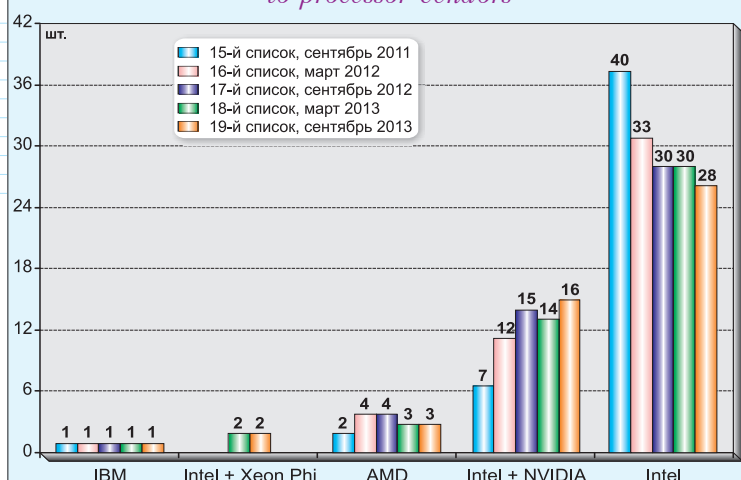


Рис. 26. Сравнение количества суперкомпьютеров на базе процессоров различных производителей в российском Top50 (2011–2013 гг., списки 15–19)

Накануне публикации текущего рейтинга *Top500* компании *IBM* и *NVIDIA* договорились о сотрудничестве при разработке суперкомпьютерных систем. Таким образом, после демонтажа своей “бегающей кукушки” *IBM* решила вернуться к гибридной архитектуре суперкомпьютеров.

Компания *Intel* намерена “переосмыслить” свои сопроцессоры *Xeon Phi*, обеспечивающие быстродействие порядка 1 *TFLOPS*, и трансформировать их в многоядерные центральные процессоры с быстродействием порядка 3 *TFLOPS*, о чем было заявлено на конференции *CS’13*.

Ведущие производители процессоров для суперкомпьютеров

Поставщиком процессоров для подавляющего большинства суперкомпьютеров, входящих в *Top500*, является компания *Intel* (рис. 24). В ноябре 2012 года, июне и ноябре 2013 года количество систем на базе интеловских процессоров составляло 379, 403 и 412 соответственно (в том числе, гибридных систем – 54, 53, 54).

На втором месте идет компания *AMD* – 61, 49 и 43 системы (в том числе гибридных систем – 5, 3, 3) соответственно.

Третье место занимает *IBM* – 53, 43 и 42 системы (надо отметить, что две гибридные системы от *IBM* в ноябре 2012 года учитываются в подсчетах для компании *AMD*).

В активе компании *Fujitsu* – 5, 4 и 3 системы соответственно (гибридные системы отсутствуют).

Компания *Intel* является лидером по количеству и суммарному быстродействию суперкомпьютеров, построенных на базе её процессоров и сопроцессоров – 412 систем и 153.9 *PFLOPS*.

Сравнение по показателю суммарной производительности систем, построенных на процессорах соответствующих вендоров, для последних трех списков также оказывается в пользу *Intel* – 70.4, 128.2 и 153.9 *PFLOPS* (рис. 25), включая весомый вклад гибридных систем (17.3, 55.8 и 63.7 *PFLOPS*).

Компания *IBM* поднялась на второе место – 46.7, 51.5 и 52.6 *PFLOPS*.

На третьем месте – компания *AMD*, для которой цифры получились следующими: 32.0, 31.2 и 31.0 *PFLOPS*; вклад гибридных систем составляет 19.2, 18.5 и 23.2 *PFLOPS* соответственно.

Четвертое место досталось *Fujitsu* – 11.9, 11.8 и 11.7 *PFLOPS*.

Интеловские процессоры распределяются по четырем семействам: *Clovertown*, *Harpertown*, *Nehalem*, *Westmere*, *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. 26). В 19-м списке (сентябрь 2013 г.) зафиксировано, что подавляющее большинство (46 систем) базируется на интеловских процессорах, включая 18 гибридных систем; всего лишь три системы построены на процессорах *AMD* и одна – на базе микроприборов *IBM*.

Литература

1. Системы высокопроизводительных вычислений в 2012–2013 годах: обзор достижений и анализ рынков. Часть I. Серверы, компьютеры, планшеты, смартфоны // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2013, №5, с. 69–79; №6, с. 90–92.
2. Системы высокопроизводительных вычислений в 2012–2013 годах: обзор достижений и анализ рынков. Часть II. Процессоры для HPC-систем. EDA-системы // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2013, №6, с. 77–88; №7, с. 85–92.
3. Павлов С. Системы высокопроизводительных вычислений в 2011–2012 годах: обзор достижений и анализ рынка. Часть II // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2012, №8, с. 8–20.

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)