

Системы высокопроизводительных вычислений в 2015–2016 годах: обзор достижений и анализ рынков

Часть I. Суперкомпьютеры

Сергей Павлов, Dr. Phys.

Предлагаем вниманию читателей четвертый ежегодный комплексный обзор систем высокопроизводительных вычислений (ВПВ) или *High-Performance Computing (HPC)*, объединивший под общей “шапкой” пять самостоятельных частей [1–5].

Как и в прошлом году, обсуждение достижений в создании “железа” публикуется вслед за обзорами рынков специализированного софта – EDA- и CAE-систем [6, 7], – эффективная работа которых опирается на применение HPC-технологий.

Предыдущие публикации по-прежнему свободно доступны на нашем сайте www.cad-cam-cae.ru.

Пять частей комплексного обзора имеют устойчивые названия, хотя порядок их в этом году меняется:

- I – Суперкомпьютеры;
- II – Серверы, компьютеры, планшетники, смартфоны;
- III – Процессоры;
- IV – Итоги года;
- V – Планы и прогнозы.

Первая часть нынешнего комплексного обзора будет посвящена суперкомпьютерному ландшафту, сложившемуся после того, как в Китае был запущен первый в мире супервычислитель с пиковой производительностью выше 100 петафлопсов (напомним, что 1 *Pflops* = 10^{15} операций с плавающей точкой (*flops*) в секунду).

При изложении результатов развития мировой суперкомпьютерной отрасли практически полностью сохранена структура части III прошлогоднего обзора [3]. Мы подробно рассмотрим данные, фиксируемые в мировом рейтинге *Top500* (www.top500.org), который впервые был составлен 23 года назад. Актуальные списки публикуются два раза в год – в июне и ноябре; новейший, 47-й список появился 20 июня 2016 г. Аккумулируемые в этом рейтинге данные мы анализируем с 2005 года. Достижения российского рынка ВПВ, отраженные в суверенном российском рейтинге *Top50*, оцениваются через призму *Top500* в контексте общемирового прогресса суперкомпьютеростроения.

Прежде чем перейти к заявленной теме, которая уже побудила нас отказаться от сложившейся уже поведенческой подготовки частей обзора, бегло коснемся “горячей” информации о событии, которое, по всей видимости, окажет значительное влияние на все обозреваемые нами рынки.

“Горячая” новость

✓ *SoftBank Group* покупает *ARM Holdings* за 32.2 млрд. долларов

18 июля 2016 года стало известно, что японская корпорация *SoftBank Group Corp.*, работающая в сфере телекоммуникаций и интернета, покупает ведущего мирового разработчика процессоров для мобильных устройств – британскую компанию *ARM Holdings plc*.

Сумма сделки составляет 24.3 млрд. фунтов стерлингов, или 3.3 трлн. иен, или 32.2 млрд. долларов США.

Следует отметить, что поглощение *ARM Holdings* является крупнейшей сделкой для *SoftBank Group Corp.* за всю её историю, начиная с 3 сентября 1981 года. Кроме того, такое серьезное приобретение иностранных активов вообще является крупнейшим для японских компаний. Для европейской ИТ-отрасли сделка также является крупнейшей в истории.

Цена акции и капитализация *ARM Holdings plc*. 15 июля, на момент закрытия торгов на электронной бирже *NASDAQ*, составляли 47.08 долларов и 22.1 млрд. долларов. После объявления 18 июля о готовящейся сделке стоимость акций на момент закрытия торгов выросла до 66.17 долларов. Капитализация компании приближается к сумме сделки – 31.1 млрд. долларов по состоянию на 21.07.2016 г.

Напомним, что доход *ARM Holdings plc*. в 2015 году составил 1.489 млрд. долларов, а капитализация на 31 декабря 2015 года была 21.2 млрд. долларов. Таким образом, сумма сделки в 21.6 раза превышает доход и в 1.5 раза капитализацию компании на конец 2015 финансового года, который завершился 31 декабря.

Плюсы и минусы этого события требуют взвешенной оценки и скрупулезного анализа. Однако, как нам кажется, уже сейчас можно сказать, что оно окажет значительное влияние на рынки процессоров и устройств, где компания *ARM Holdings* является ведущим игроком. Одной из ключевых причин такого влияния может быть потеря нейтрального отношения *ARM Holdings* к своим клиентам после перехода под крыло *SoftBank Group Corp.* Напомним, что содержанием бизнеса *ARM Holdings plc* является продажа лицензий на разработанные ею процессорные архитектуры. Далее лицензиаты разрабатывают собственные чипы на базе системы команд и архитектуры *ARM*.

Интегральные показатели рейтинга Top500

Теперь перейдем к рассмотрению достижений суперкомпьютерного рынка, отраженных в рейтинге Top500.

Суммарная производительность систем, включенных в 47-й список Top500, в сравнении с показателями, обнародованными полгода назад в 46-м списке, увеличилась более чем на треть (+35.0%) – с 420.31 петафлопсов до 567.35. Если сравнить с 45-м списком (362.65 Pflops), то за год прирост составил более половины (+56.5%). При этом темпы роста производительности за год выросли в 1.7 раза. Год назад этот показатель составлял 32.5%, если сравнить 45-й список с 43-м (273.76 Pflops).

За год суммарная производительность суперкомпьютеров, включенных в Top500, выросла на 56.5% и составила 567.35 Pflops.

Петафлопсовый барьер реального (по LINPACK) быстродействия преодолели 94 суперкомпьютера из пятисот, или 18.8%. Эти системы инсталлированы в 18-ти странах (полгода назад таких продвинутых стран было 17): США (30 систем), Япония (11), Китай (10), Франция (10), Германия (8), Великобритания (7), Италия (3), Польша (2), Саудовская Аравия (2), Швейцария (2), Южная Корея (2), Австралия (1), Нидерланды (1), Россия (1), Сингапур (1), Финляндия (1), Чехия (1) и Швеция (1).

Таблица 1. Первая десятка международного суперкомпьютерного рейтинга Top500 в июне 2016 года

Место в рейтинге Top500	Реальная производительность Pflops	Общее число процессорных ядер	Название компьютера, архитектура, применяемые процессоры и ускорители	Компания-производитель	Организация, где инсталлирован суперкомпьютер	Место в рейтинге Green500	Энергоэффективность, Mflops/W
1	93.01	10 649 600	Sunway TaihuLight Sunway SW26010 (260 ядер, 1.45 GHz)	NRCPC (Китай)	Национальный суперкомпьютерный центр (Уси, Китай)	221	6051.3
2	33.86	3 120 000	Tianhe-2 (TH-IVB-FEP) Intel Xeon E5-2692 (12 ядер, 2.2 GHz) Intel Xeon Phi 31S1P	NUDT (Китай)	Национальный суперкомпьютерный центр (Гуанчжоу, Китай)	134	1901.5
3	17.59	560 640	Titan (Cray XK7) Opteron 6274 (16 ядер, 2.2 GHz) NVIDIA K20x	Cray (США)	Окриджская национальная лаборатория (штат Теннеси, США)	155	2142.8
4	17.17	1 572 864	Sequoia (BlueGene/Q) Power BQC (16 ядер, 1.6 GHz)	IBM (США)	Ливерморская национальная лаборатория им. Э. Лоуренса (штат Калифорния, США)	161	2176.6
5	10.51	705 024	K computer SPARC64 VIIIfx (8 ядер, 2.0 GHz)	Fujitsu (Япония)	Институт физико-химических исследований (Кобе, Япония)	57	830.2
6	8.59	786 432	Mira (BlueGene/Q) Power BQC (16 ядер, 1.6 GHz)	IBM (США)	Аргонская национальная лаборатория (штат Иллинойс, США)	162	2176.6
7	8.10	301 056	Trinity (Cray XC40) Intel Xeon E5-2698v3 (16 ядер, 2.3 GHz)	Cray (США)	Лос-Аламосская национальная лаборатория (штат Нью-Мексико, США)	–	1377.7
8	6.27	115 984	Piz Daint (Cray XC30) Xeon E5-2670 (8 ядер, 2.6 GHz) NVIDIA K20x	Cray (США)	Швейцарский национальный суперкомпьютерный центр (Лугано, Швейцария)	197	3185.9
9	5.64	185 088	Hazel Hen (Cray XC40) Intel Xeon E5-2680v3 (12 ядер, 2.5 GHz)	Cray (США)	Центр высокопроизводительных вычислений (Штутгарт, Германия)	–	1560.2
10	5.54	196 608	Shaheen II (Cray XC40) Intel Xeon E5-2698v3 (16 ядер, 2.3 GHz)	Cray (США)	Научно-технологический университет имени короля Абдаллы (Саудовская Аравия)	140	1953.8

Число “петафлопсников” за прошедшие полгода увеличилось на 14, и распределились они по миру следующим образом: Франция (+5), Великобритания (+2), Китай (+2), Япония (+2), Италия (+1), Польша (+1), Сингапур (+1), Швейцария (+1) и Австралия (-1).

Реальное быстродействие, превышающее 1 петафлопс, сегодня демонстрируют 94 суперкомпьютера, расположенные в 18-ти странах.

Если оценивать по пиковой производительности, то к супервычислителям петафлопсного класса можно отнести, помимо упомянутых, еще 89 систем. По странам они распределяются так: Китай (53), США (18), Япония (5), Германия (3), Австралия (1), Италия (1), Нидерланды (1), Польша (1), Россия (1), Саудовская Аравия (1); кроме того, здесь появляются Индия (2 системы), Испания (1) и Южная Африка (1), которые пока не располагают “петафлопсниками” по критерию реальной производительности.

По пиковому быстродействию к петафлопсному классу можно отнести 183 системы (36.6% из 500) из 21-й страны.

Лидеры рейтинга Top500

“Горячая десятка” новейшего 47-го списка Top500 (табл. 1) отличается от первой десятки 46-го списка полугодичной давности [3, табл. 1] всего одной новой позицией, но позицией лидера, поэтому все остальные системы (*Tianhe-2*, *Titan*, *Sequoia*, *K computer*, *Mira*, *Trinity*, *Piz Daint*, *Hazel Hen*, *Shaheen II*) съехали на одну ступеньку вниз. Покинула десятку система *Stampede*. За подробным описанием параметров этих девяти систем отсылаем читателя к предыдущим обзорам [8, 9 – табл. 1]. Надо отметить, что изменились и их места в рейтинге энергоэффективности *Green500* (табл. 1), который теперь публикуется совместно со списком *Top500*.

✓ Новый лидер – китайский суперкомпьютер Sunway TaihuLight

Опустив позиции 2–10, перейдем к описанию явленной миру новой суперкомпьютерной системы, которая не только установила новый рекорд производительности (как реальной, так и пиковой), но и **впервые в истории преодолела рубеж 100 Pflops по пиковой производительности.**

Итак, 47-й список рейтинга Top500 возглавил китайский суперкомпьютер *Sunway TaihuLight*, разработанный в Национальном исследовательском центре параллельных вычислений и инженерии (*NRCPC*) и инсталлированный в Национальном суперкомпьютерном центре в гор. Уси (провинция Цзянсу). Рекордный на настоящий момент уровень его реальной производительности – **93.014594 Pflops**. Пиковая производительность достигает **125.435904 Pflops**, а вычислительная

Sunway TaihuLight (China) with real speed 93.016 Pflops, the champion of world's supercomputers Top500 list in June 2016, have been mounted with 40960 processors Sunway SW26010 (260 cores, 1.45 GHz). Sunway TaihuLight according to its peak speed (125.436 Pflops) is the world's first 100-Pflops-level supercomputer



Источник: www.top500.org

Sunway TaihuLight (Kumay) с реальным быстродействием 93.016 Pflops, лидер суперкомпьютерного рейтинга Top500 в июне 2016 года, смонтирован из 40 960 процессоров Sunway SW26010 (260 ядер, 1.45 GHz). Пиковое быстродействие Sunway TaihuLight (125.436 Pflops) впервые в мире преодолело рубеж в 100 Pflops

эффективность – 74.15%. Энергоэффективность 6051.3 *Mflops/W* соответствует 221-му месту в рейтинге *Green500*. Стоимость системы оценивается суммой порядка 270 млн. долларов США.

Рекордное реальное быстродействие 93.0146 Pflops продемонстрировал лидер 47-го списка – китайский суперкомпьютер *Sunway TaihuLight*, вместивший в себя 10 649 600 ядер 40 960-ти 64-разрядных 260-ядерных процессоров *Sunway SW26010*, разработанных и изготовленных в Китае. Пиковое быстродействие впервые в мире превысило рубеж в 100 Pflops.

Developed in China 64-bit RISC processor SW26010 with 260-cores based on Sunway architecture, performs 3.062 Tflops at 1.45 GHz clock frequency



Источник: net.bigfuture.com

Созданный в Китае 260-ядерный 64-разрядный RISC-процессор SW26010 на базе архитектуры Sunway обеспечивает производительность 3.062 Tflops при тактовой частоте 1.45 GHz

Рекордсмен построен на базе 40 960-ти процессоров *Sunway SW26010*, разработанных и изготовленных в Китае. Процессоры являются 64-разрядными и объединяют 260 ядер (256 ядер обеспечивают вычисления, а четыре управляют работой чипа). Производительность процессора – 3.062 *Tflops* при тактовой частоте 1.45 *GHz*.

Таким образом, общее число процессорных ядер суперкомпьютера *Sunway TaihuLight* составляет внушительную величину – 10 649 600.

Отметим, что *Sunway TaihuLight* лидирует в 47-м списке с большим отрывом от систем, еще совсем недавно возглавлявших рейтинг *Top500*, а теперь входящих в первую десятку.

✓ **Былые рекордсмены еще в строю**

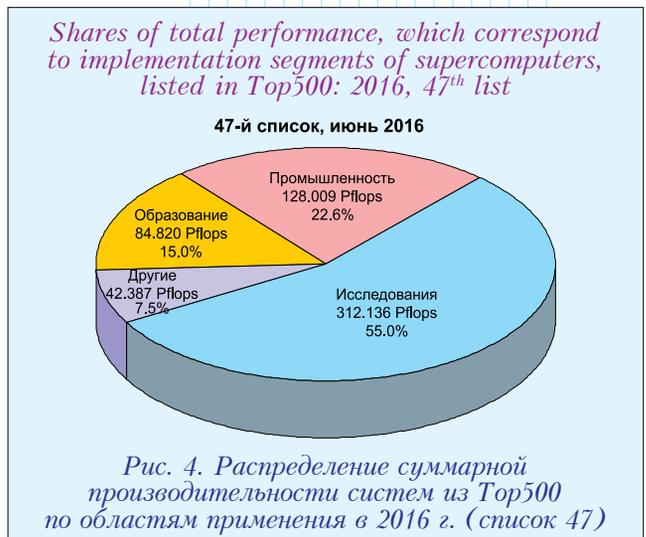
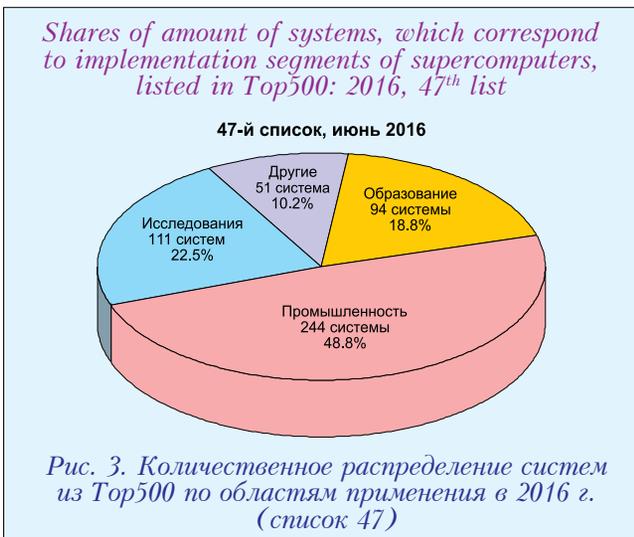
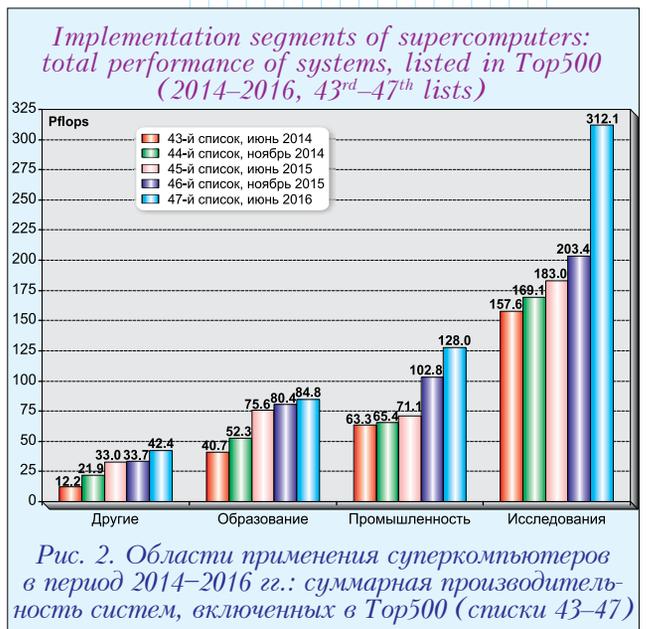
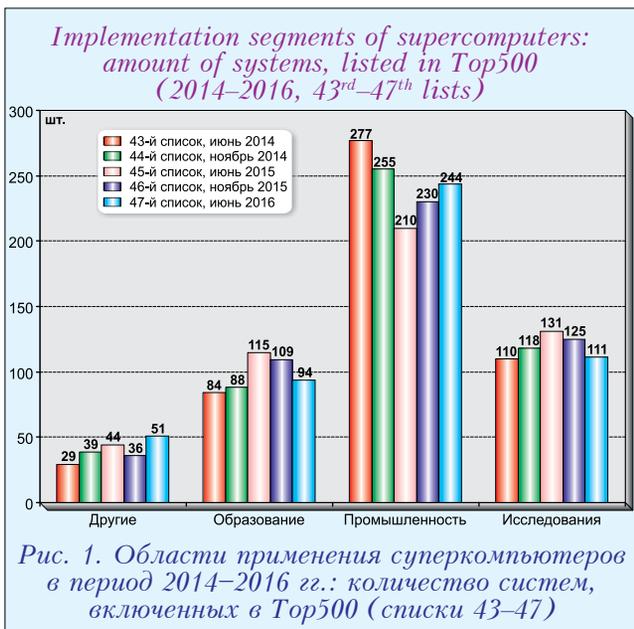
Краткая характеристика прежних систем-победителей, попавших и в первую десятку 47-го списка *Top500*:

- китайский суперкомпьютер **Tianhe-2** (на английском языке название звучит как *Milky Way-2*) – лидер шести предыдущих списков (41÷46). Реальная производительность – **33.8627 Pflops**, пиковая – 54.9024 *Pflops*, вычислительная эффективность – 61.68%. *Sunway TaihuLight* быстрее *Tianhe-2* в 2.75 раза;

- суперкомпьютер **Titan** с гибридной архитектурой от американской компании *Cray* – лидер 40-го списка. Реальное быстродействие – **17.59 Pflops**, пиковое – 27.113 *Pflops*, вычислительная эффективность – 64.9%. *Sunway TaihuLight* быстрее *Titan* в 5.29 раза;

- суперкомпьютер **Sequoia** от компании *IBM* – победитель из 39-го списка. Реальная производительность – **17.173 Pflops**, пиковая – 20.133 *Pflops*, вычислительная эффективность – 85.3%. *Sunway TaihuLight* быстрее “Секвойи” в 5.42 раза;

- 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%. Работает медленнее нынешнего лидера в 8.85 раза.

✓ **Лучшие производители лучших систем**

Среди производителей лидирующих суперкомпьютеров, входящих в первую десятку 47-го списка, места распределились следующим образом:

- 1) NRCPC, Китай – одна система с производительностью 93.016 Pflops;
- 2) Компания Cray, США – пять систем с общей производительностью 43.139 Pflops;
- 3) Национальный университет оборонных технологий (National University of Defense Technology), Китай – одна система с производительностью 33.8627 Pflops;
- 4) Компания IBM, США – две системы с общей производительностью 25.76 Pflops;
- 5) Компания Fujitsu, Япония – одна система с производительностью 10.51 Pflops.

Исследовательский центр NRCPC (Китай) – лидирующий разработчик вычислительных систем из первой десятки Top500; производительность его суперкомпьютера-рекордсмена составляет 93.016 Pflops.

Еще раз можем констатировать, что американские протекционистские меры (о них упоминалось в первой части прошлогоднего обзора [1]), введенные против четырех организаций, обладающих наиболее развитым потенциалом в китайской суперкомпьютерной отрасли, без сомнений, сыграли на руку Китаю. Если достижения, зафиксированные в 46-м списке Top500, свидетельствовали о появлении в Китае двух компаний [3], обеспечивших взрывной рост числа инсталлированных супервычислителей, то рекордсмен 47-го списка продемонстрировал возможности собственного китайского процессора, темпы разработки которого на завершающей стадии явно были подстегнуты введенными США ограничениями.

Области применения систем ВПВ

Наибольшее количество суперкомпьютеров из Top500 работает в промышленности (Industry): в 47-м списке таких насчитывается 244 (48.8% от общего числа систем). Для научных исследований (Research) применяются 111 систем (22.2%), а в образовании (Academic) – 94 систем или 19.8% (рис. 1, 3). Полгода назад, в 46-м списке, распределение было следующим: в промышленности – 230 систем (46%); в научных исследованиях – 125 систем (25%), в образовании – 109 (21.8%).

Если рассматривать число систем для каждого пользовательского сегмента на более длительном временном отрезке, то изменения можно интерпретировать как колебания относительно средних значений, причем отличие средних значений за

5 и 10 лет не превышает 2.5%. Для списков с 37-го (июнь 2011 года) по 47-й (июнь 2016 года) средние значения получаются следующими: промышленность – 259, исследования – 116, образование – 92, а для списков с 27-го (июнь 2006 года) по 47-й – 272, 110, 89 систем соответственно.

По суммарной производительности впереди идут суперкомпьютеры для науки – 312.1 Pflops (55% от общей производительности всех систем, включенных в рейтинг). На промышленность работает совокупная вычислительная мощь 128.0 Pflops (22.6%), а на образование – 84.8 Pflops или 15.0% (рис. 2, 4). Следует подчеркнуть, что во всех пользовательских сегментах даже за полгода мы видим значительный прирост производительности: в 46-м списке показатели суммарной производительности были намного скромнее – 203.4, 102.8 и 80.4 Pflops. Напомним, что сфера образования опережала промышленность по этому важному параметру в 39-м, 40-м и 45-м списках.

Сфера исследований по суммарной производительности применяемых суперкомпьютеров в июне 2016 года обгоняет и промышленность, и образование – в 2.4 и 3.7 раза соответственно. Эта тенденция сохраняется на длительном временном отрезке – средние значения опережения, взятые за период с ноября 2005 года по июнь 2016 года, составляют соответственно 2.0 и 2.8 раза.

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

В группу “другие” на рис. 1÷4 объединены области применения, которые не столь велики – как по числу инсталляций, так и по суммарной производительности. Туда попадают суперкомпьютеры,

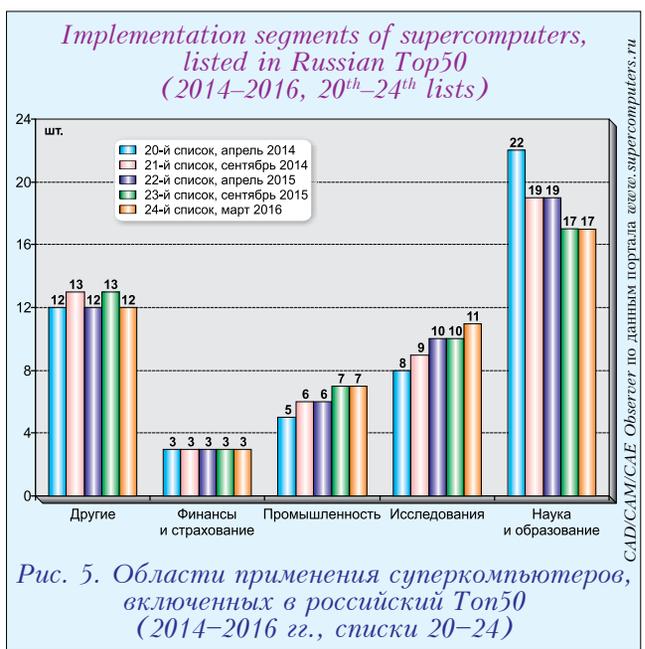


Рис. 5. Области применения суперкомпьютеров, включенных в российский Top50 (2014–2016 гг., списки 20–24)

Amount of supercomputers, listed in Top500, installed in developed and emerging regions (2014–2016, 43rd–47th lists)

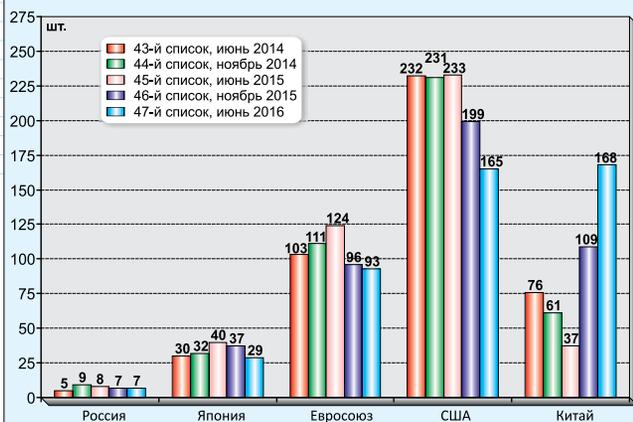


Рис. 6. Количество суперкомпьютеров из Top500 в развитых и развивающихся регионах мира (2014–2016 гг., списки 43–47)

Total performance of supercomputers, listed in Top500, installed in developed and emerging regions (2014–2016, 43rd–47th lists)

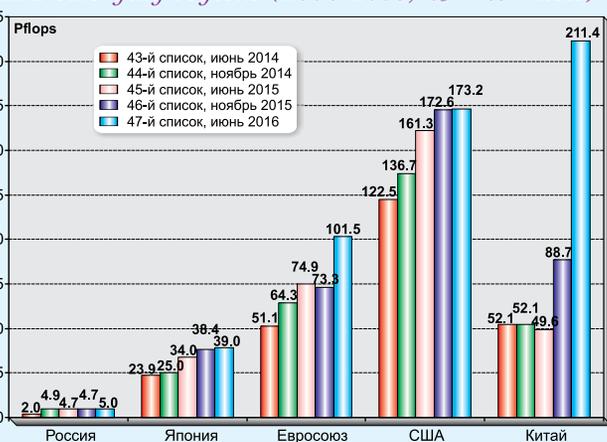


Рис. 7. Суммарная производительность суперкомпьютеров из Top500 в развитых и развивающихся регионах мира (2014–2016 гг., списки 43–47)

Regional shares of amount of supercomputers for 2011–2016 (Top500, 38th–47th lists)

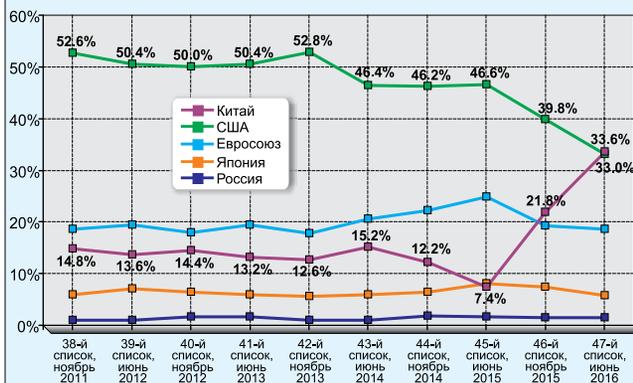


Рис. 8. Изменение региональных долей от общего количества суперкомпьютеров из Top500 в период 2011–2016 гг. (списки 38–47)

Regional shares of total performance of supercomputers for 2011–2015 (Top500, 38th–47th lists)

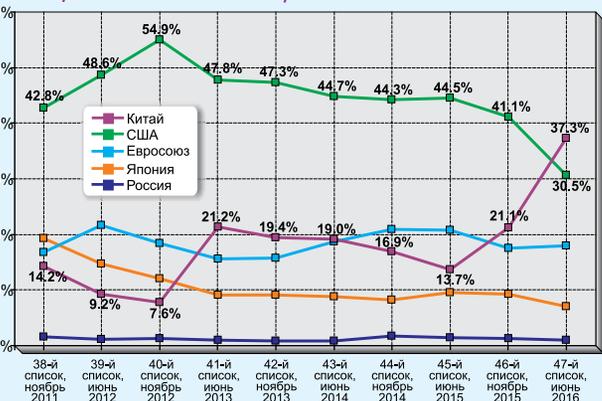


Рис. 9. Изменение региональных долей от суммарной производительности суперкомпьютеров из Top500 в период 2011–2016 гг. (списки 38–47)

Shares of amount of supercomputers, installed in developed and emerging regions, listed in Top500 – 2016, 47th list

47-й список, июнь 2016

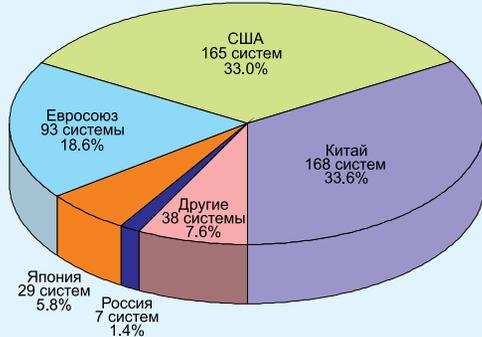


Рис. 10. Региональное распределение суперкомпьютеров из Top500 в 2016 г. (список 47)

Shares of total performance of supercomputers, installed in developed and emerging regions, listed in Top500 – 2016, 47th list

47-й список, июнь 2016

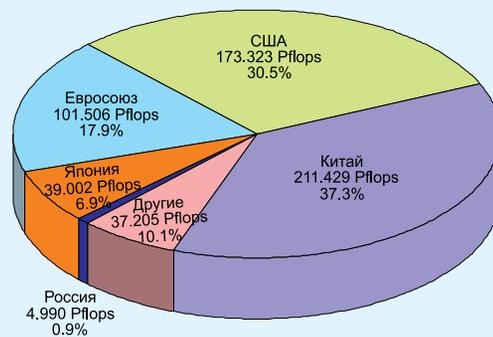


Рис. 11. Региональное распределение суммарной производительности суперкомпьютеров из Top500 в 2016 г. (список 47)

являющиеся объектом экспериментов, которые проводят их разработчики (*Vendors*); системы, применяемые для решения задач распознавания и шифрования (*Classified*), а также для задач государственного управления (*Government*).

Согласно данным российского рейтинга Top50 (рис. 5), в марте 2016 г. для научных исследований в России было задействовано 11 систем, на промышленность работало 7 систем, в области финансов и страхования – 3. В сфере высшего образования и науки сейчас занято 17 супервычислителей (напомним, что в марте 2011 года в этой сфере работало 30 систем, то есть на 13 больше). Для сравнения с состоянием годичной и двухгодичной давности приведем цифры на март 2015-го (10, 6, 3 и 19 систем) и на март 2014-го (8, 5, 3 и 22 системы) соответственно.

Региональный срез рейтинга Top500

Наша региональная “табель о рангах” позволяет препарировать состояние дел в Китае, США, Евросоюзе, Японии и России. Данные за два последних года (списки 43–47 рейтинга Top500) наглядно отображены на диаграммах (рис. 6–12). На рис. 8, 9, построенных для последних пяти лет (списки 38–47), можно проследить тенденции в развитии регионов, построивших супервычислители петафлопсного класса и имеющих амбиции достичь эксафлопсный рубеж.

✓ Китай

За прошедшие полгода доля Китая в Top500 выросла в 1.54 раза – до 33.6% (168 систем в 47-м списке) – по сравнению с 21.8% (109 систем в 46-м списке). Таким образом, Поднебесная вышла на первое место по числу систем, включенных в Top500, обойдя США по этому показателю. Если сравнивать с данными годичной давности (7.4% или 37 систем в 45-м списке), то рост составил 4.54 раза.

Лидером регионального рейтинга по количеству установленных систем стал Китай, отодвинувший США на 2-е место. За полгода, с ноября 2015 г. по июнь 2016 г., количество китайских систем увеличилось на 54.1% (со 109-ти до 168-ми), а их доля в Top500 – с 21.8% до 33.6%.

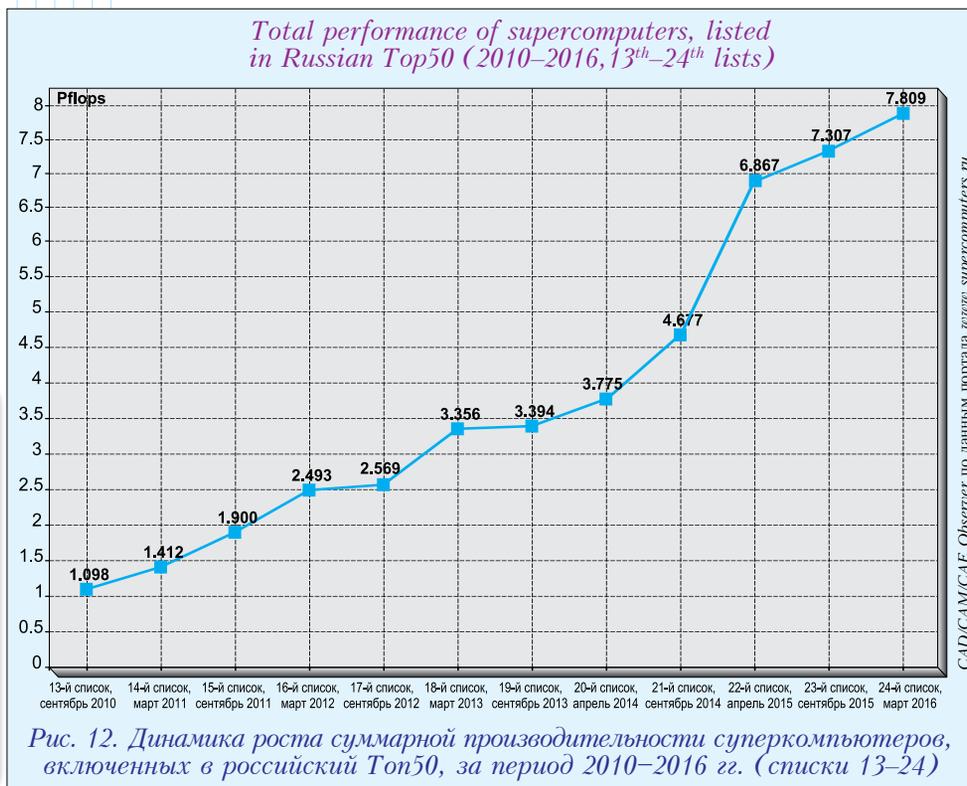
Кроме того, по суммарной производительности топовых суперкомпьютеров в 47-м списке (221.4 Pflops или 37.3%) Китай также обошел США и занял 1-е место. За полгода этот важный показатель вырос в 2.38 раза (в 46-м списке – 88.7 Pflops или 21.1%), а за год – в 4.27 раза (в 45-м списке – 49.6 Pflops или 13.7%).

Путь к лидерству занял три с половиной года. Сначала с 4-й позиции (40-й список, ноябрь 2012 года) Поднебесная резко поднялась на вторую – после “великого китайского скачка”, когда в результате почти четырехкратного прироста суммарной производительности удалось обогнать ЕС и Японию, которые до этого не раз получали серебро. Причиной столь стремительного взлета стала инсталляция рекордсмена 41–46 списков – суперкомпьютера *Tianhe-2*. Вторую позицию Китай занимал в списках 41–43, затем временно уступил её Евросоюзу. В 46-м списке Китай вернул себе 2-е место, чтобы уже через полгода занять лидирующую позицию в 47-м списке.

Лидером регионального рейтинга по суммарной производительности установленных систем также стал Китай. За полгода этот показатель у китайских систем вырос в 2.38 раза (с 88.7 до 211.4 Pflops), а доля в Top500 – с 21.1% до 37.3%.

✓ США

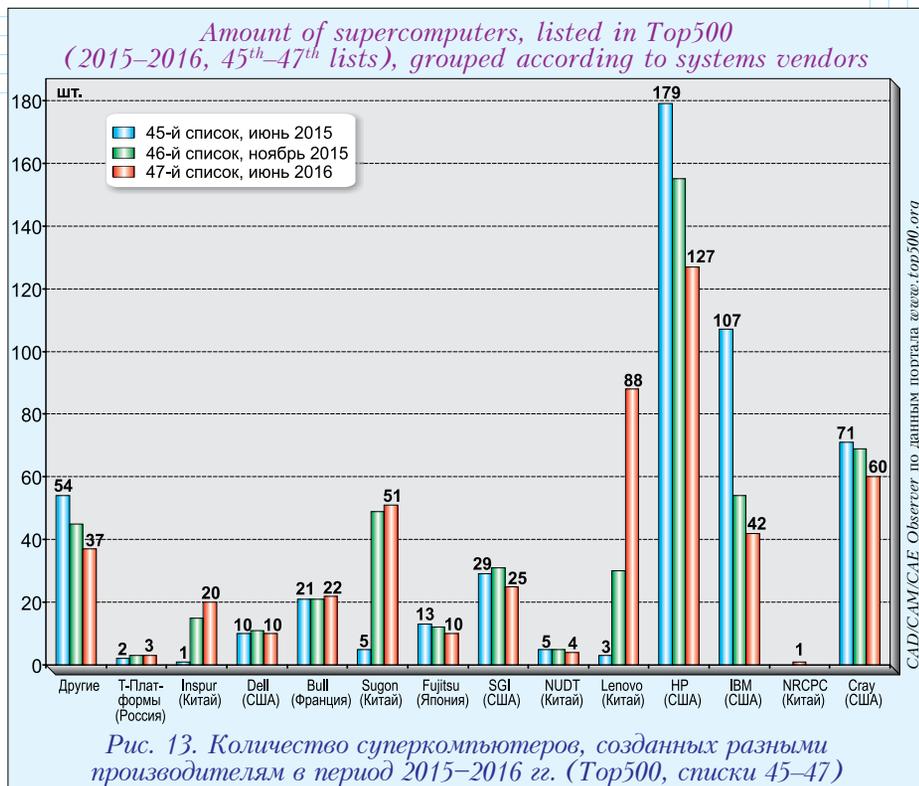
По состоянию на июнь 2016 года (47-й список), в США инсталлировано 165 суперкомпьютеров



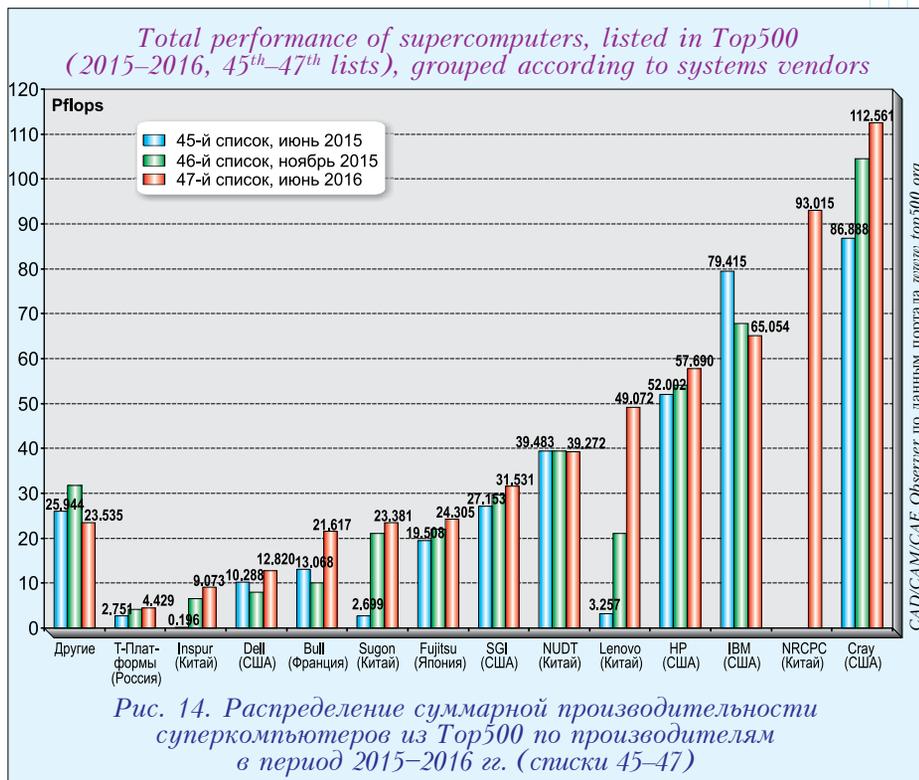
(33% от общего числа систем уровня *Top500*), что на 34 меньше, чем полгода назад: в ноябре 2015 года (46-й список) в США насчитывалось 199 систем (39.8%). В 43-м, 44-м и 45-м списках этот показатель составлял 46.4%, 46.2%, 46.6% соответственно. Ранее, на протяжении всего периода

существования наших обзоров, который берет отчет с 2005 года, доля США неизменно превышала половину – вплоть до ноября 2013 г.

В июне 2016 года суммарная производительность упомянутых систем достигла 173.2 *Pflops*. За полгода этот показатель вырос с 172.6 *Pflops* меньше чем на один процент (0.4%). При этом их доля в общей производительности *Top500* за полгода снизилась с 41.1% до 30.5%. Напомним, что, начиная с июня 2011 года, доля США неизменно составляла более 40%, но менее половины (кроме 40-го списка в ноябре 2012 года, когда США доминировали над всем остальным суперкомпьютерным миром с показателем 54.9%).



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



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

✓ **Евросоюз**

Число систем из стран ЕС в 47-м списке *Top500* составило 93 (18.6% от общего числа систем уровня *Top500*), причем за полгода оно немного сократилось: в ноябре 2015 года таких систем было 96 (19.2%).

Суммарная производительность этих 93-х систем составляет 101.5 *Pflops* (17.9% от общего значения для *Top500*). За полгода этот показатель увеличился в 1.29 раза – с 73.3 *Pflops* (17.4%).

Таким образом, и по числу систем, и по их суммарной производительности, ЕС находится на 3-м месте.

Три первых места в Евросоюзе стабильно занимают:

- Германия – 31.1 *Pflops*, 26 систем;
- Франция – 22.0 *Pflops*, 18 систем;
- Великобритания – 20.0 *Pflops*, 11 систем.

На долю этих трех стран приходится 59.1% суперкомпьютеров из *Top500* на территории ЕС и 72.0% их суммарной производительности.

Полгода назад, в ноябре 2015-го, показатели лидеров суперкомпьютерной отрасли ЕС были следующими:

- Германия – 29.9 *Pflops*, 33 системы;
- Франция – 12.3 *Pflops*, 18 систем;
- Великобритания – 11.6 *Pflops*, 18 систем.

Это соответствовало наличию у этих стран 71.9% суперкомпьютеров из *Top500* на территории ЕС и 73.3% их суммарной производительности.

Отметим, что в 47-й список *Top500* попали супервычислители 14-ти из 28-ми стран Евросоюза. Полгода назад таких стран было на одну больше – 15. В будущем, случае выхода Великобритании из ЕС, вся эта картина, безусловно, сильно изменится.

✓ Япония

Число инсталлированных в Стране Восходящего Солнца систем за год уменьшилось с 37-ми (7.4% от общего значения для *Top500*) в 46-м списке до 29-ти (5.8%) в 47-м списке. Их суммарная производительность в 47-м списке достигла 39.0 *Pflops* (6.9% от общей), увеличившись всего на 1.5% по сравнению с 46-м списком.

В последних семи списках (с 41-го по 47-й) Япония неизменно занимает 4-е место по величине суммарной производительности. Напомним, что на 2-й позиции с показателями 11.2 *Pflops* (19% от общей) и 14.2 *Pflops* (19.2%) эта страна находилась в июне и ноябре 2011 года благодаря рекордсмену 37-го и 38-го списков – *K computer*.

✓ Россия

Российская Федерация в 47-м списке *Top500* представлена семью системами (1.4% от общего числа в *Top500*) с суммарной производительностью 4.99 *Pflops* (0.88% от общего значения в *Top500*). Полгода назад в 46-м списке также были представлены семь систем (1.4%) с суммарной производительностью 4.737 *Pflops* (1.13%).

Надо отметить, что по состоянию на июнь 2016 года суммарная мощь российских суперкомпьютеров из *Top500* (4.99 *Pflops*) оказалась существенно меньше общей производительности систем,

включенных в марте 2015 года в 24-й список российского рейтинга *Top50*, – 7.809 *Pflops* (рис. 12).

Единственным российским петафлопсником (то есть суперкомпьютером с реальной производительностью, превышающей 1 *Pflops*) пока остается система с реальной производительностью **2.102 *Pflops***, пиковой (расчетной) производительностью 2.962 *Pflops* и вычислительной эффективностью 71.0%, эта машина ведена в строй компанией “Т-Платформы” в Суперкомпьютерном центре МГУ им. М.В. Ломоносова. После модернизации её быстродействие несколько выросло, однако этот результат не поспел к публикации 24-го списка российского *Top50* в марте 2016 года. Однако в текущем 47-м списке *Top500*, опубликованном на пару месяцев позже, система заняла 41-е место. Отметим, что отставание российского петафлопсника по производительности от мирового лидера, китайского *Sunway TaihuLight*, составляет 44.3 раза.

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*. При этом производители, суммарная пиковая производительность систем которых не дотянула до пяти петафлопсов, 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 Research Center of Parallel Computer Engineering & Technology (NRCPC)*, *National University of Defense Technology*, *Cray*, *IBM*, *Fujitsu*;

Amount of supercomputers, listed in Russian Top50 (2015–2016, 22nd–24th lists), from world and Russian leading vendors

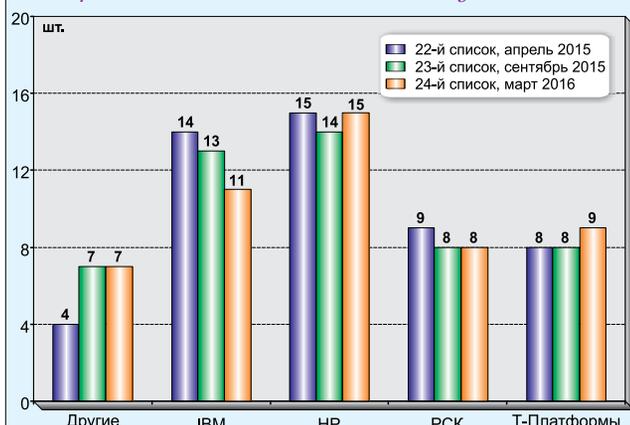


Рис. 15. Количественное распределение суперкомпьютеров, включенных в российский Top50, по производителям (2015–2016 гг., списки 22–24)

Total performance of supercomputers, listed in Russian Top50 (2015–2016, 22nd–24th lists), from world and Russian leading vendors

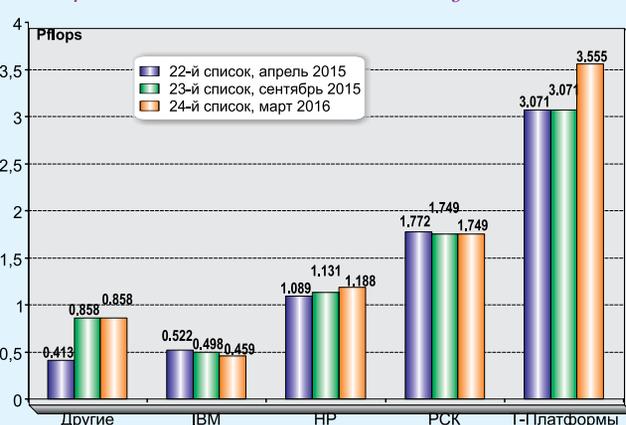


Рис. 16. Распределение суммарной производительности суперкомпьютеров из российского Top50 по производителям (2015–2016 гг., списки 22–24)

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

2 участники мирового рынка HPC-систем – *Hewlett-Packard, Lenovo, SGI, Bull, Dell*;

3 участники региональных рынков HPC-систем – *Sugon Information Industry, Inspur, “Т-Платформы”*.

Начиная с 41-го списка, по количеству установленных суперкомпьютеров лидирует компания *Hewlett-Packard (HP)*. В трех последних списках (июнь и ноябрь 2015 г., июнь 2016 г.) показатели *HP* таковы: 179, 155 и 127 систем соответственно (рис. 13).

На 2-е место в 47-м списке вышла китайская компания *Lenovo* (после приобретения у *IBM* серверного бизнеса, базирующегося на процессорах с системой команд *x86*), в активе которой в июне и ноябре 2015 года и в июне 2016-го имелось 3, 30 и 88 систем соответственно.

На 3-е место опустилась компания *Cray*, построившая 71, 69 и 60 систем – в июне, ноябре 2015 года и июне 2016 года соответственно.

На 4-е место в трех последних списках поднялась китайская компания *Sugon* – с 5, 49 и 51 системой.

Лишь на 5-м месте оказалась в 47-м списке (после продажи *Lenovo* части своего серверного бизнеса) корпорация *IBM*, построившая 107, 54 и 42 системы из пятисот в трех последних списках соответственно.

Лидером по числу построенных суперкомпьютеров уровня *Top500* остается компания *Hewlett-Packard* – на её счету 127 систем.

В аспекте суммарной производительности установленных систем лидером *Top500*, начиная с 45-го списка, является компания *Cray* (рис. 14). В июне, ноябре 2015 года и июне 2016-го этот важнейший показатель её супервычислителей имел значения 86.9, 104.6 и 112.7 *Pflops* соответственно.

На второй позиции по суммарной производительности теперь находится китайский исследовательский центр *NRCPC*. В июне 2016 года этот показатель составил 93.0 *Pflops*.

На третьем месте по суммарной производительности теперь находится *IBM*. Этот показатель в июне, ноябре 2015 года и июне 2016-го достигал значений 79.4, 67.8 и 65.1 *Pflops* соответственно.

Четвертую позицию занимают системы от *HP* с показателями в трех последних списках соответственно 52.0, 54.0 и 57.7 *Pflops*.

На 5-е место поднялась компания *Lenovo* с показателями 3.26, 21.0 и 49.1 *Pflops* в 45-м, 46-м и 47-м списках *Top500*.

Компания *Cray*, лидер по суммарной производительности систем в *Top500*, пока остается единственной, чьи суперкомпьютеры преодолели порог в 100 петафлопс – 112.7 *Pflops*.

Amount of supercomputers, listed in Top500, 43rd-47th lists, based on various multicore processors – rise of popularity and the skids for processors with 4, 6, 8, 10, 12, 14 cores for 2014-2016

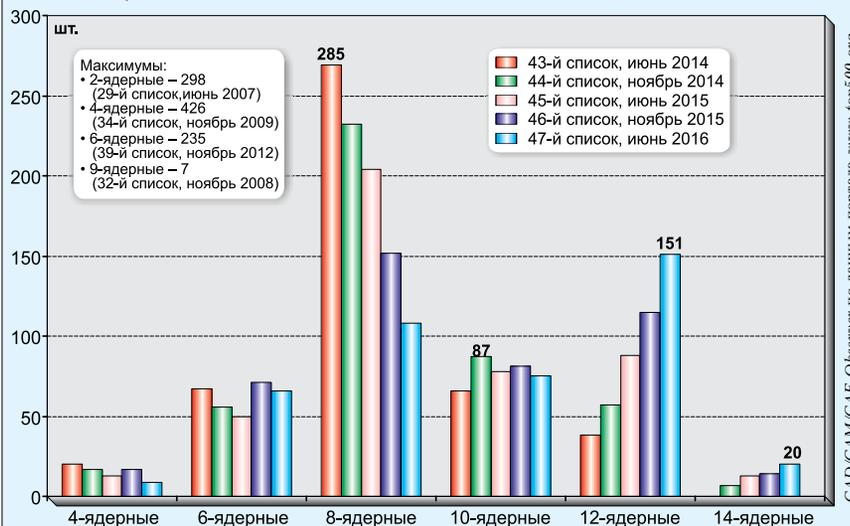


Рис. 17. Рост и падение популярности процессоров с 4, 6, 8, 10, 12, 14 ядрами в суперкомпьютерах из Top500 в период 2014–2016 гг. (списки 43–47)

Amount of supercomputers, listed in Top500, 43rd-47th lists, based on various multicore processors – changes of popularity for processors with 16, 18, 20, 32, 68 and 260 cores for 2014-2016

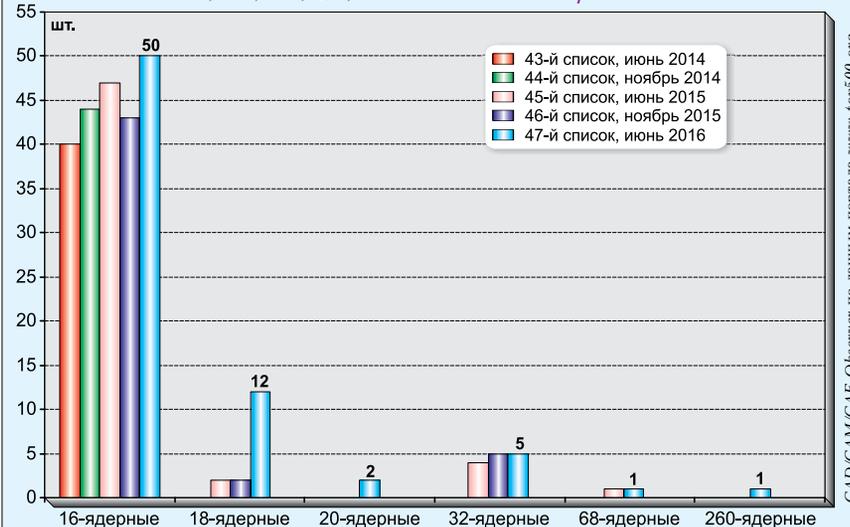


Рис. 18. Изменение популярности процессоров с 16, 18, 20, 32, 68 и 260 ядрами в суперкомпьютерах из Top500 в период 2014–2016 гг. (списки 43–47)

На российском рынке ситуация следующая. Лидером является компания “Т-Платформы” – в марте 2016 года, по данным 24-го списка Top50 (рис. 15, 16), суммарная производительность девяти её систем составила **3.555 Pflops**.

На 2-м месте расположилась компания “РСК” (1.749 Pflops, 8 систем). Третьим местом теперь довольствуется *Hewlett-Packard* (1.188 Pflops, 15 систем). Четвертое место досталось компании *IBM*, производительность 11-ти систем которой на российском рынке не достигает и полупетафлопса – 0.459 Pflops.

Число процессорных ядер в суперкомпьютерах

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

В 47-м списке наиболее популярными остаются 12-ядерные процессоры – на их базе построена 151 система.

Пик популярности 8-ядерных процессоров пришелся на 42-й список – на их базе было построено 285 систем; 6-ядерные процессоры были наиболее применяемыми в 39-м списке (235 систем); а 4-ядерные – в 34-м списке (426 систем).

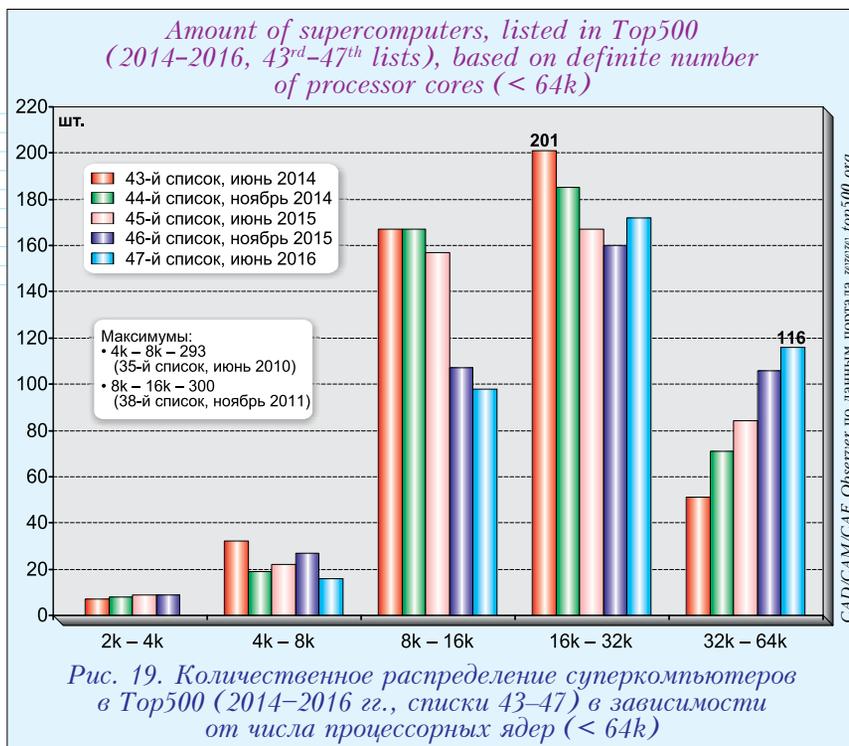
Наибольшей популярностью при строительстве суперкомпьютеров, включенных в 47-й список Top500, пользовались 12-ядерные процессоры, на базе которых создана 151 система.

Что касается 16-ядерных процессоров, то пик их использования пока приходится на 47-й список (50 систем), а 10-ядерных – на 44-й список (87 систем).

Число суперкомпьютеров на базе 18-ядерных процессоров за прошедшие полгода выросло до 12-ти. Кроме того, в 47-м списке появилась одна система, построенная с использованием 260-ядерных процессоров.

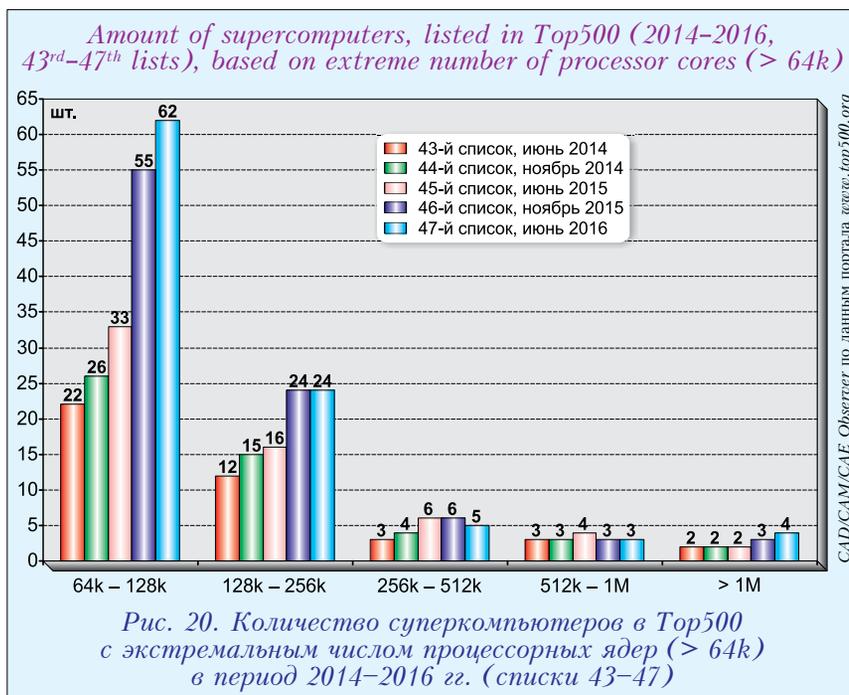
Наиболее распространенное суммарное число ядер в одной системе сейчас лежит в пределах от 16k до 32k, где $k = 1024$. В текущем 47-м списке таких систем оказалось 172, а пик популярности пока приходится на 43-й список – 201 система (рис. 19).

Суперкомпьютеры с рекордными характеристиками содержат значительно больше ядер – их число превышает 256k (рис. 20). Количество таких систем составляет 12.



Рекордсменом в этой номинации является *Sunway TaihuLight*, лидер 47-го списка Top500: общее число его ядер равно 10 649 600 или 10.17M ($M = 1024 \times 1024$). Далее следуют системы:

- *Tianhe-2*, лидер 41÷46 списков, – 3 120 000 ядер (2.98M);
- *Sequoia*, лидер 39-го списка, – 1 572 864 ядра (1.5M);



Amount of supercomputers, listed in Russian Top50 (2014–2015, 22nd–24th lists), based on definite number of processor cores

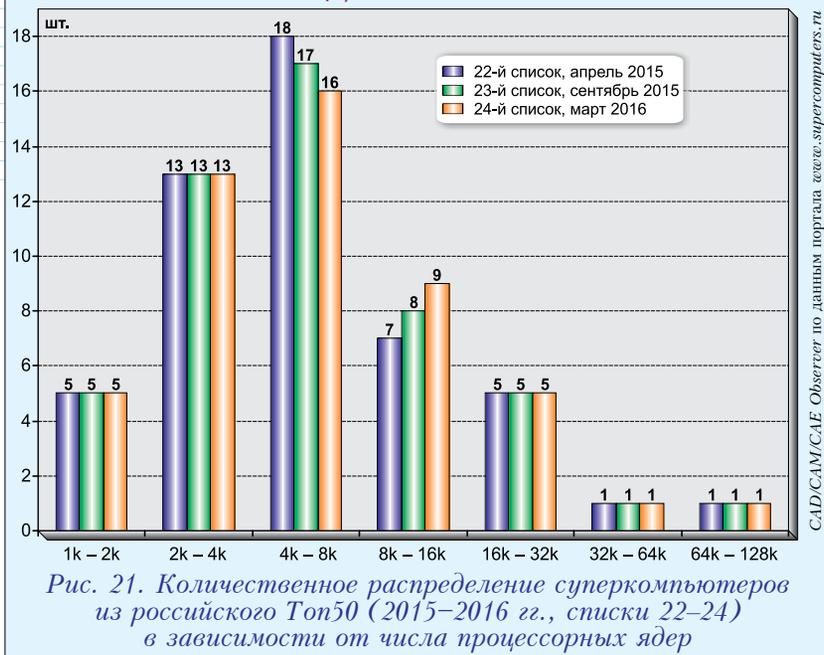


Рис. 21. Количественное распределение суперкомпьютеров из российского Top50 (2015–2016 гг., списки 22–24) в зависимости от числа процессорных ядер

- *Shoubu* с 1 181 952 ядрами (1.13M), занимавшая 133-е место в 46-м списке (разработчики – японские компании *PEZY Computing* и *Exascalер*);
- *Mira* – 786 432 ядра (0.75M);
- *K computer*, лидер списков 2011 года, – 705 024 ядра (0.67M);

него имелось 37 120 ядер (в том числе 19 200 ядер GPU). Однако после модернизации у лидера Top50 насчитывается уже 42 688 ядер (в том числе 22 080 ядер графических процессоров), что зафиксировано в 47-м списке *Top500* в июне 2016 г.

Amount of supercomputers, listed in Top500 (2015–2016, 45th–47th lists), with hybrid architecture based on definite number of co-processor and graphic (GPU) processor cores

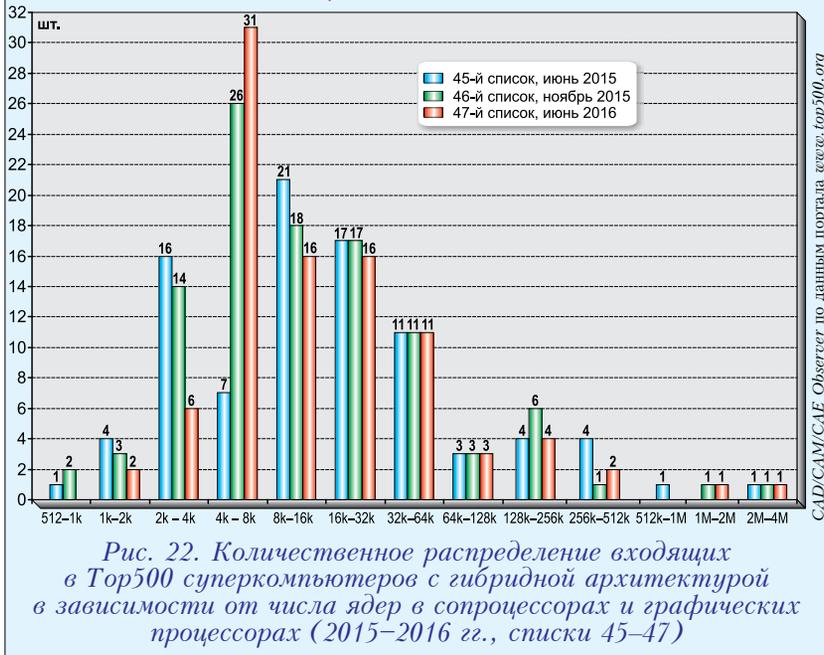


Рис. 22. Количественное распределение входящих в Top500 суперкомпьютеров с гибридной архитектурой в зависимости от числа ядер в сопроцессорах и графических процессорах (2015–2016 гг., списки 45–47)

Суперкомпьютеры с гибридной архитектурой

В текущем 47-м списке *Top500* доля систем с гибридной архитектурой (таковых имеется 93) составила 18.6%. Это на три системы больше, чем год назад в 45-м списке (90 систем или 18%), однако на 10 меньше, чем полгода назад в 46-м списке, когда доля систем с гибридной архитектурой превысила пятую часть (20.6% или 103 системы).

Диаграмма на рис. 22 позволяет сопоставить число гибридных супервычислителей, обладающих различным суммарным количеством ядер графических процессоров или сопроцессоров, используемых для ускорения вычислений.

Число суперкомпьютеров с гибридной архитектурой составляет 93 – это 18.6% от включенных в *Top500* систем.

Сейчас в первой десятке *Top500* представлены три гибридные системы:

Tianhe-2 (2-е место), *Titan* (3-е место) и *Piz Daint* (8-е место).

В июне 2016 года наиболее популярной в гибридных системах является комбинация “*Intel + NVIDIA GPU*”. Всего в *Top500* таких систем насчитывается 62 (рис. 23); полгода и год назад их было 63 и 43 соответственно. На втором месте находится сочетание “*Intel + Xeon Phi*” (23 суперкомпьютера); полгода и год назад их было 28 и 32 соответственно.

По суммарной производительности среди гибридных суперкомпьютеров на лидирующих позициях находится комбинация “*Intel + Xeon Phi*” – 55.7 *Pflops* (рис. 24), представленная в том числе и бывшим рекордсменом по имени *Tianhe-2*. Для этой категории гибридных систем уменьшение за полгода составило -1.2 *Pflops*.

Второй по популярности комбинацией процессоров и ускорителей стало сочетание “*Intel + NVIDIA GPU*” – 54.3 *Pflops*, прирост за полгода составил +4.4 *Pflops*.

На третьем месте остается мало распространенная (всего три системы) комбинация “*AMD + NVIDIA GPU*”, чей показатель остался без изменений – 18.5 *Pflops*.

Наибольшую суммарную производительность показали те гибридные суперкомпьютеры, в которых применяется сочетание “*Intel + Xeon Phi*” – 55.7 *Pflops* (число систем – 23).

В марте 2016 года в 24-м списке российского *Top50* гибридную архитектуру имеет 21 система из 50-ти (рис. 25), что на две системы меньше, чем полгода назад.

Наиболее популярной является комбинация “*Intel + NVIDIA GPU*” – 18 систем (за полгода их стало на две больше). Комбинация “*Intel + Xeon Phi*” использована при строительстве всего двух систем (-2 системы за полгода).

Ведущие производители процессоров для суперкомпьютеров

Поставщиком процессоров для подавляющего большинства суперкомпьютеров, входящих в *Top500*, является компания *Intel* (рис. 23). В июне, ноябре 2015 года и июне 2016-го количество систем на базе интеловских процессоров составляло 433, 445 и 455 соответственно (в том числе, гибридных систем – 80, 95, 88).

Второе место занимает *IBM* – 36, 26 и 23 системы (гибридные отсутствуют).

На третьем месте идет компания *AMD* – 23, 21 и 13 систем (в том числе гибридных – 4, 4, 3) соответственно.

На 4-м месте – компания *Fujitsu*, в активе которой 7, 7 и 7 систем (гибридные отсутствуют).

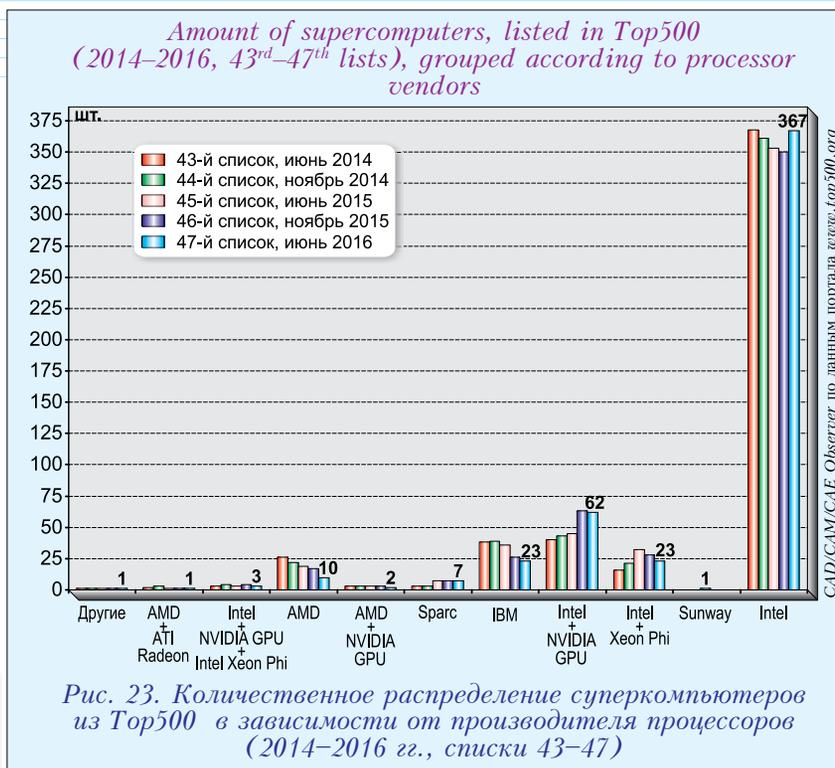


Рис. 23. Количественное распределение суперкомпьютеров из Top500 в зависимости от производителя процессоров (2014–2016 гг., списки 43–47)

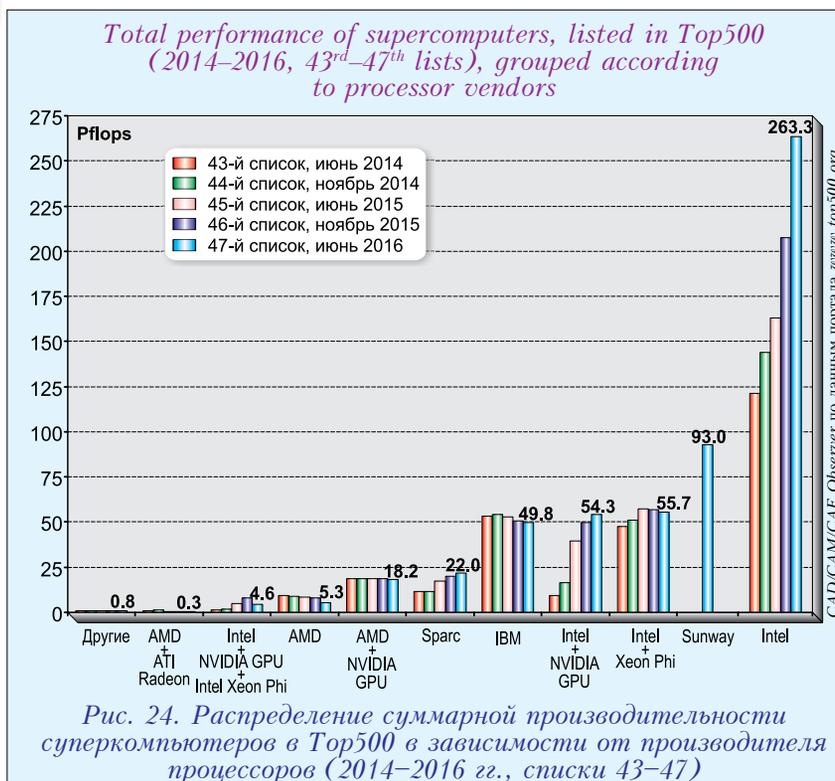
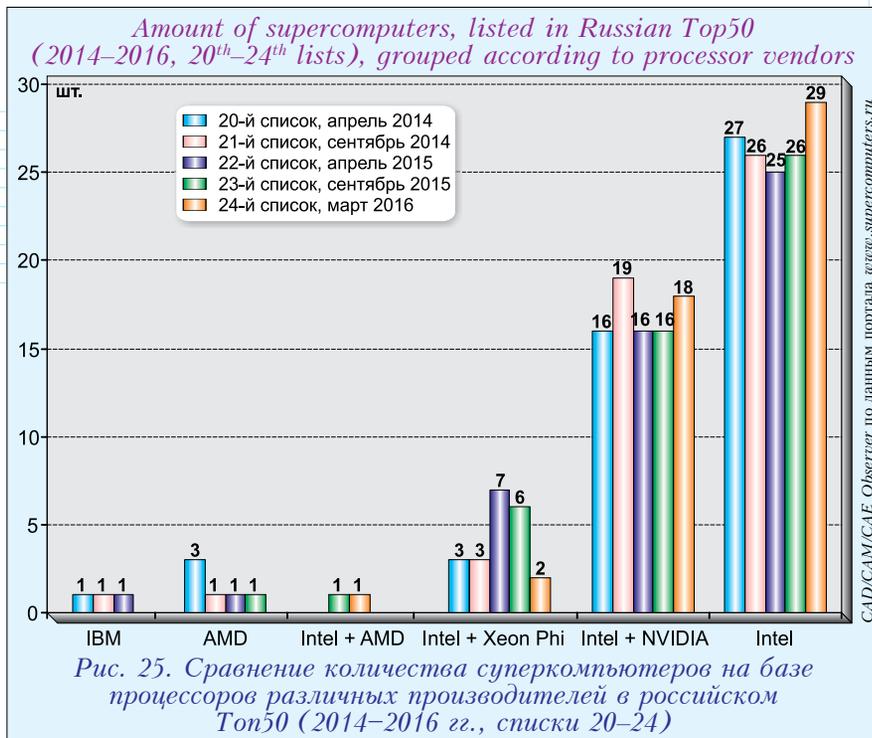


Рис. 24. Распределение суммарной производительности суперкомпьютеров в Top500 в зависимости от производителя процессоров (2014–2016 гг., списки 43–47)



Как свидетельствует российский рейтинг Top50, ведущим производителем процессоров для суперкомпьютеров, установленных на территории РФ, является одна-единственная компания: *Intel* (рис. 25). В 24-м списке зафиксировано, что более чем подавляющее большинство систем (точнее, все 50 из 50-ти, включая 21 гибридную) основывается на интеловских процессорах. ☺

Об авторе:

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

Литература

1. Павлов С. Системы высокопроизводительных вычислений в 2014–2015 годах: обзор достижений и анализ рынков. Часть I. Серверы, компьютеры, планшеты, смартфоны // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2015, №5, с. 63–76.
2. Павлов С. Системы высокопроизводительных вычислений в 2014–2015 годах: обзор достижений и анализ рынков. Часть II. Процессоры // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2015, №6, с. 56–63.
3. Павлов С. Системы высокопроизводительных вычислений в 2014–2015 годах: обзор достижений и анализ рынков. Часть III. Суперкомпьютеры // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2015, №8, с. 78–90.
4. Павлов С. Системы высокопроизводительных вычислений в 2014–2015 годах: обзор достижений и анализ рынков. Часть IV. Итоги года // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2016, №1, с. 72–80.
5. Павлов С. Системы высокопроизводительных вычислений в 2014–2015 годах: обзор достижений и анализ рынков. Часть V. Планы и прогнозы // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2016, №2, с. 77–86.
6. Павлов С. Системы электронного и электротехнического проектирования в 2015 году: обзор достижений и анализ рынков // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2016, №3, с. 6–17.
7. Павлов С. CAE-технологии в 2015 году: обзор достижений и анализ рынков // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2015, №4, с. 6–16.
8. Павлов С. Системы высокопроизводительных вычислений в 2013–2014 годах: обзор достижений и анализ рынков. Часть III. Суперкомпьютерные рейтинги // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2014, №8, с. 75–86.
9. 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.

Сравнение по показателю суммарной производительности систем, построенных на процессорах соответствующих вендоров, для последних трех списков также оказывается в пользу *Intel* – 264.3, 322.5 и 337.9 *Pflops* (рис. 24), включая весомый вклад гибридных систем (101.5, 114.9 и 114.6 *Pflops*).

Китайский производитель *NRCPC* продемонстрировал единственную систему в июне 2016 года с показателем 93 *Pflops* и сразу же занял второе место.

Третье место досталось компании *IBM* – 52.9, 50.5 и 49.8 *Pflops* в июне, ноябре 2015 года и июне 2016 года.

На четвертом месте – *AMD*, для которой цифры получились следующими: 27.4, 26.6 и 23.8 *Pflops*; вклад гибридных систем составляет 18.8, 18.8 и 18.8 *Pflops* соответственно.

Пятое место занимает *Fujitsu* – 17.3, 20.0 и 22.0 *Pflops*.

Компания *Intel* является лидером по количеству и суммарной производительности суперкомпьютеров, построенных на базе её процессоров и сопроцессоров: 455 систем и 337.9 *Pflops*.

Интеловские процессоры распределяются по следующим семействам: *Broadwell*, *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*.