

Системы высокопроизводительных вычислений в 2016–2017 годах: обзор достижений и анализ рынков

Часть II. Суперкомпьютеры

Сергей Павлов, Dr. Phys.

Внимание читателей предлагается вторая часть обзора систем высокопроизводительных вычислений (ВПВ) или *High-Performance Computing (HPC)*. Опубликованная в прошлом номере первая часть [1] дала старт очередному комплексному обзору (по всей видимости, шестичастному), выходящему под общей “шапкой”.

В этом году во второй части обзора обсуждаются суперкомпьютерные рейтинги. В прошлогоднем обзоре этот материал рассматривался в первой части [2]. Напомним, что все ранее подготовленные публикации на эту тему [2–7] по-прежнему свободно доступны на нашем сайте www.cad-cam-cae.ru.

При изложении результатов развития мировой суперкомпьютерной отрасли практически полностью сохранена структура части I прошлогоднего обзора [2]. Мы подробно рассмотрим данные, фиксируемые в мировом рейтинге *Top500* (www.top500.org), который впервые был составлен 24 года назад. Актуальные списки публикуются два раза в год – в июне и ноябре; новейший, 49-й список появился 19 июня 2017 г. Аккумулируемые в этом рейтинге данные мы анализируем с 2005 года. Достижения российского рынка ВПВ, отраженные в суверенном российском рейтинге *Top50* (top50.supercomputers.ru), оцениваются через призму *Top500* в контексте общемирового прогресса суперкомпьютеростроения.

Сразу отметим, что за прошедший год не были отмечены какие-либо радикальные изменения суперкомпьютерного ландшафта, сложившегося после того, как в Китае был запущен первый в мире супервычислитель с пиковой производительностью выше 100 петафлопсов (напомним, что $1 \text{ Pflops} = 10^{15}$ операций с плавающей точкой (*flops*) в секунду).

Все страны с суперкомпьютерными амбициями и все ведущие производители чипов и “железа” нацелились на покорение следующей вершины – эксафлопсной (10^{18} *flops*), о чём с завидной регулярностью сообщают в анонсах, которые пестрят миллионными суммами инвестицией и датами ожидаемых изделий (некоторые анонсы отмечены в прогнозно-плановой части предыдущего обзора [8]).

Интегральные показатели рейтинга *Top500*

Суммарная производительность систем, включенных в 49-й список *Top500*, в сравнении с показателями, обнародованными полгода назад в

48-м списке, увеличилась на +11.4% – с 672.1 петафлопсов до 748.7. Если же сравнивать с 47-м списком (567.35 *Pflops*), то за год прирост составил почти треть (+32.0%). При этом годовые темпы роста производительности уменьшились: если взять данные 47-го и 45-го списков (567.35 и 362.65 *Pflops*), то легко подсчитать, что тогда прирост был +56.5%. Два года назад этот показатель также составлял практически треть (+32.5%), если сравнить данные 45-го и 43-го списков (362.65 и 273.76 *Pflops*).

За год суммарная производительность суперкомпьютеров, включенных в *Top500*, выросла на 32% и достигла 748.7 *Pflops*.

Петафлопсовый барьер реального (по *LINPACK*) быстродействия преодолели 138 суперкомпьютеров из пятисот, или 27.6%. Эти системы инсталлированы в 21 стране (год назад таких продвинутых стран было 18): США (54 системы), Япония (15), Китай (12), Германия (11), Франция (11), Великобритания (9), Италия (5), Польша (3), Австралия (2), Канада (2), Саудовская Аравия (2), Швейцария (2), Южная Корея (2), Испания (1), Нидерланды (1), Россия (1), Сингапур (1), Финляндия (1), Чехия (1), Швеция (1) и Южная Африка (1).

Число петафлопсников за прошедший год увеличилось на 44, и распределились они по миру следующим образом: США (+24 системы), Япония (+4), Германия (+3), Великобритания (+2), Италия (+2), Канада (+2), Китай (+2), Австралия (+1), Испания (+1), Польша (+1), Франция (+1) и Южная Африка (+1).

Реальное быстродействие, превышающее 1 петафлопс, сегодня демонстрируют 138 суперкомпьютеров. Количество стран, обладающих такими системами, увеличилось до 21.

Если оценивать по пиковой производительности, то к супервычислителям петафлопсного класса можно отнести, помимо упомянутых, еще 177 систем. По странам они распределяются так: Китай (96), США (47), Япония (10), Германия (4), Нидерланды (3), Южная Корея (3), Ирландия (2), Канада (2), Саудовская Аравия (2), Италия (1), Польша (1), Россия (1), Франция (1) и Швеция (1). Кроме того, здесь появляются Индия (2 системы) и Норвегия (1), которые пока не располагают петафлопсниками по критерию реальной производительности.

По пиковому быстродействию к петафлопсному классу можно отнести 315 систем (63% из 500) из 24-х стран.

Лидеры рейтинга Top500

Отличие “горячей десятки” новейшего, 49-го списка Top500 (табл. 1), от первой десятки 47-го списка годичной давности [2, табл. 1] заключается в следующем: система *Piz Daint* подверглась глубокой модернизации и поднялась в рейтинге, и появились две новые системы – *Cori* и *Oakforest-PACS*

(фактически они вошли в десятку лидеров еще предыдущего, 48-го списка).

Остаток подостывшей “горячей десятки” 47-го списка в свежей спеченной десятке составляют семь знакомых имен: *Sunway TaihuLight*, *Tianhe-2*, *Titan*, *Sequoia*, *K computer*, *Mira* и *Trinity*, отранжированные, как показано в табл. 1. Краткие описания параметров этих систем можно найти в одном из предыдущих обзоров. Первую десятку покинули системы *Hazel Hen* и *Shaheen II*.

Обращаем внимание читателей, что позиции оставшихся семи систем изменились не только в Top500, но и в рейтинге энергоэффективности *Green500* (табл. 1), который стал составной частью Top500.

Таблица 1. Первая десятка международного суперкомпьютерного рейтинга Top500 в июне 2017 года

| Место в рейтинге Top500 | Реальная производительность Pflops | Общее число процессорных ядер | Название компьютера, архитектура, применяемые процессоры и ускорители | Компания-производитель | Организация, где установлен суперкомпьютер | Место в рейтинге Green500 | Энергоэффективность, Mflops/W |
|-------------------------|------------------------------------|-------------------------------|--|----------------------------|--|---------------------------|-------------------------------|
| 1 | 93.01 | 10 649 600 | Sunway TaihuLight <i>Sunway SW26010</i> (260 ядер, 1.45 GHz) | <i>NRCPC</i> (Китай) | Национальный суперкомпьютерный центр (Уси, Китай) | 484 | 6051.3 |
| 2 | 33.86 | 3 120 000 | Tianhe-2 (<i>TH-1VB-FEP</i>) <i>Intel Xeon E5-2692</i> (12 ядер, 2.2 GHz) <i>Intel Xeon Phi 31S1P</i> | <i>NUDT</i> (Китай) | Национальный суперкомпьютерный центр (Гуанчжоу, Китай) | 354 | 1901.5 |
| 3 | 19.59 | 361 760 | Piz Daint (<i>Cray XC50</i>) <i>Xeon E5-2690v3</i> (12 ядер, 2.6 GHz) <i>NVIDIA Tesla P100</i> | <i>Cray</i> (США) | Швейцарский национальный суперкомпьютерный центр (Лугано, Швейцария) | 495 | 10398 |
| 4 | 17.59 | 560 640 | Titan (<i>Cray XK7</i>) <i>Opteron 6274</i> (16 ядер, 2.2 GHz) <i>NVIDIA K20x</i> | <i>Cray</i> (США) | Окриджская национальная лаборатория (штат Теннесси, США) | 392 | 2143 |
| 5 | 17.17 | 1 572 864 | 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) | 394 | 2177 |
| 6 | 14.01 | 622 336 | Cori (<i>Cray XC40</i>) <i>Intel Xeon Phi 7250</i> (68 ядер, 1.4 GHz) | <i>Cray</i> (США) | Национальный научный вычислительный центр энергетических исследований (штат Калифорния, США) | 467 | 3558 |
| 7 | 13.55 | 556 104 | Oakforest-PACS (<i>PRIMERGY CX1640 M1</i>) <i>Intel Xeon Phi 7250</i> (68 ядер, 1.4 GHz) | <i>Fujitsu</i> (Япония) | Объединенный центр перспективных высокопроизводительных вычислений (Кашива, Япония) | 480 | 4986 |
| 8 | 10.51 | 705 024 | K computer <i>SPARC64 VIIIfx</i> (8 ядер, 2.0 GHz) | <i>Fujitsu</i> (Япония) | Институт физико-химических исследований (Кобе, Япония) | 229 | 830.2 |
| 9 | 8.59 | 786 432 | Mira (<i>BlueGene/Q</i>) <i>Power BQC</i> (16 ядер, 1.6 GHz) | <i>IBM</i> (США) | Аргонская национальная лаборатория (штат Иллинойс, США) | 395 | 2177 |
| 10 | 8.10 | 301 056 | Trinity (<i>Cray XC40</i>) <i>Intel Xeon E5-2698v3</i> (16 ядер, 2.3 GHz) | <i>Cray</i> (США) | Лос-Аламосская национальная лаборатория (штат Нью-Мексико, США) | 361 | 1914 |

✓ **Модернизированная система и два условных новичка**

Кратко остановимся на параметрах трех систем, изменивших ландшафт “горячей десятки”.

- На третьей позиции в 49-м списке находится модернизированный супервычислитель **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*. В ноябре 2013 года 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.

В период с ноября 2013 по ноябрь 2016 года суперкомпьютер *Piz Daint* относился к крайневскому семейству *Cray XC30* с гибридной архитектурой, допускающей масштабирование вплоть до суммарной производительности на уровне 100 *Pflops*. Общее число вычислительных ядер составляло 115 984, включая 73 808 ядер графических процессоров. В системе сочетались 8-ядерные процессоры *Xeon E5-2670* (тактовая частота 2.6 GHz) от компании *Intel* и ускорители *K20x* компании *NVIDIA*.

С ноября 2016 года *Piz Daint* относится уже к более продвинутому семейству супервычислителей *Cray XC50*, построенных на базе 12-ядерных процессоров *Xeon E5-2690v3* (тактовая частота 2.6 GHz) от компании *Intel* и ускорителей *Tesla P100* компании *NVIDIA*.

Полгода назад (48-й список) общее число вычислительных ядер *Piz Daint* составляло 206 720, включая 170 240 ядер графических процессоров, что обеспечивало реальное быстродействие 9.779 *Pflops* и 8-е место в *Top500*. В новейшем, 49-м списке, зафиксирована реальная производительность **19.59 *Pflops***, которую обеспечивают уже 361 760 вычислительных ядер, из которых 297 920 – ядра графических процессоров. Пиковая производительность системы достигает **25.326 *Pflops***, а вычислительная эффективность – 77.4%.

Piz Daint имеет рекордное быстродействие среди всех суперкомпьютеров на территории Европы: в июне 2017 года этот показатель увеличился до 19.59 *Pflops*.

Однако с энергоэффективностью дело обстоит гораздо хуже: *Piz Daint* с показателем

Implementation segments of supercomputers: amount of systems, listed in Top500 (2015–2017, 45th–49th lists)

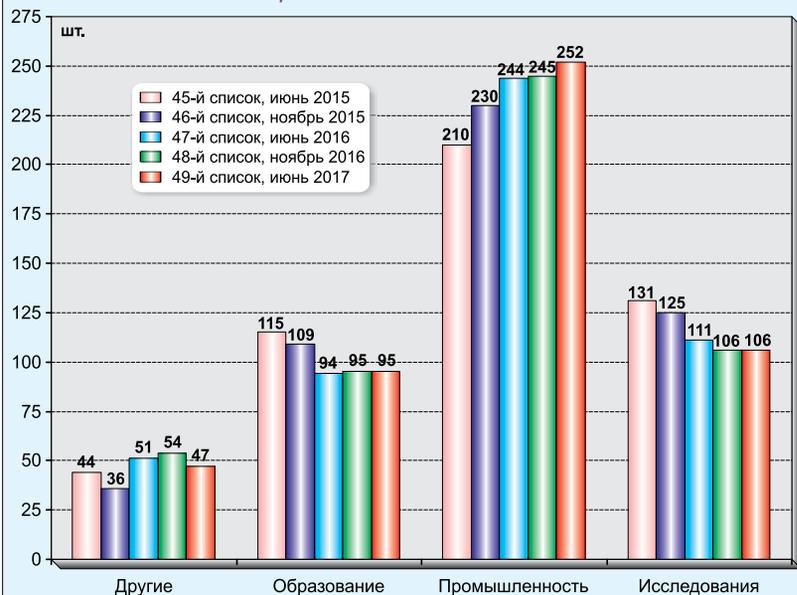


Рис. 1. Области применения суперкомпьютеров в период 2015–2017 гг.: количество систем, включенных в Top500 (списки 45–49)

Implementation segments of supercomputers: total performance of systems, listed in Top500 (2015–2017, 45th–49th lists)

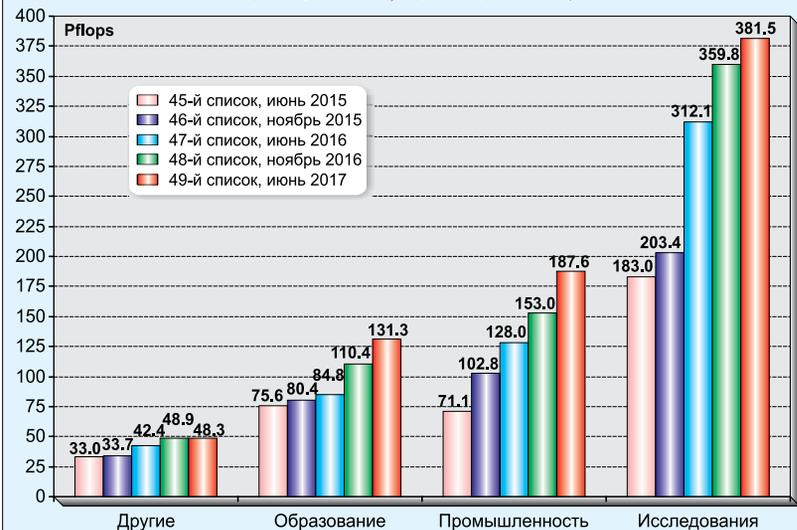


Рис. 2. Области применения суперкомпьютеров в период 2015–2017 гг.: суммарная производительность систем, включенных в Top500 (списки 45–49)

10 398 *Mflops/W* не только замыкает первую десятку, но и занимает 495-е место в рейтинге *Green500* среди всех систем включенных в *Top500*.

- На шестом месте в 49-м списке находится супервычислитель **Cori** (полгода назад он был пятым), также построенный американской компанией *Cray* для Национального научного вычислительного центра энергетических исследований (*National Energy Research Scientific Computing Center – NERSC*), расположенного в штате Калифорния, США.

Реальная производительность этой системы – **14.015 Pflops**. Пиковая производительность достигает **27.881 Pflops**, а вычислительная эффективность – **50.3%**. Энергоэффективность **3558 Mflops/W** соответствует 467-му месту в рейтинге *Green500*.

Супервычислитель *Cori* относится к семейству *Cray XC40*, он построен на базе 68-ядерных процессоров *Xeon Phi 7250* (тактовая частота **1.4 GHz**) от компании *Intel*.

- Седьмое место в 49-м списке занимает супервычислитель **Oakforest-PACS** (полгода назад – шестое), построенный японской компанией *Fujitsu* в гор. Кашива (Япония) для Объединенного центра перспективных высокопроизводительных вычислений (*Joint Center for Advanced High Performance Computing*).

Реальная производительность системы – **13.555 Pflops**. Пиковая производительность достигает **24.914 Pflops**, а вычислительная эффективность – **54.4%**. Энергоэффективность **4986 Mflops/W** соответствует 480-му месту в рейтинге *Green500*.

Система **Oakforest-PACS** относится к семейству *PRIMERGY CX1640 M1*, она построена на базе 68-ядерных процессоров *Xeon Phi 7250* (тактовая частота **1.4 GHz**) от компании *Intel*.

✓ **Нынешний лидер и бывшие рекордсмены**

Краткая характеристика нынешнего лидера и прежних систем-победителей, входящих в первую десятку 49-го списка *Top500*:

- китайский суперкомпьютер **Sunway TaihuLight** – лидер трех последних списков (47÷49). На настоящий момент он показывает рекордный уровень реальной производительности – **93.01 Pflops**, его пиковая производительность достигает **125.44 Pflops**, а вычислительная эффективность – **74.15%**;

- 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%**. Таким образом, *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 *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 49-го списка, места распределились следующим образом:

- 1 **NRCPC**, Китай – одна система с производительностью **93.016 Pflops**;
- 2 Компания *Cray*, США – четыре системы с общей производительностью **59.296 Pflops**;
- 3 Национальный университет оборонных технологий (*National University of Defense Technology*),

Shares of amount of systems, which correspond to implementation segments of supercomputers, listed in Top500: 2017, 49th list



Рис. 3. Количественное распределение систем из Top500 по областям применения в 2017 г. (список 49)

Shares of total performance, which correspond to implementation segments of supercomputers, listed in Top500: 2017, 49th list



Рис. 4. Распределение суммарной производительности систем из Top500 по областям применения в 2017 г. (список 49)

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

Китай – одна система с производительностью 33.863 Pflops;

④ Компания IBM, США – две системы с общей производительностью 25.760 Pflops;

⑤ Компания Fujitsu, Япония – две системы с производительностью 24.065 Pflops.

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

Области применения систем ВПВ

Наибольшее количество суперкомпьютеров из Top500 работает в промышленности (Industry): в 49-м списке таких насчитывается 252 (50.4% от общего числа систем). Для научных исследований (Research) применяются 106 систем (21.2%), а в образовании (Academic) – 95 систем или 19% (рис. 1, 3).

Год назад, в 47-м списке, распределение было следующим: в промышленности – 244 системы (48.8%); в научных исследованиях – 111 систем (22.2%), в образовании – 94 (19.8%).

Если рассматривать число систем ВПВ 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 3.5%. Для списков с 39-го (июнь 2012 года) по 49-й (июнь 2017 года) средние значения получаются следующими: промышленность – 252, исследования – 115, образование – 95, а для списков с 27-го (июнь 2006 года) по 49-й – 269, 110, 88 систем соответственно.

По суммарной производительности впереди идут суперкомпьютеры для науки – 381.5 Pflops (50.9% от общей производительности всех систем, включенных в рейтинг). На промышленность работает совокупная вычислительная мощность 187.6 Pflops (25.1%), а на образование – 131.3 Pflops или 17.5% (рис. 2, 4). Следует подчеркнуть, что во всех пользовательских сегментах мы видим значительный прирост производительности даже за полгода: в 48-м списке показатели суммарной производительности были намного скромнее – 359.8, 153.0 и 110.4 Pflops. Напомним, что сфера образования опережала промышленность по

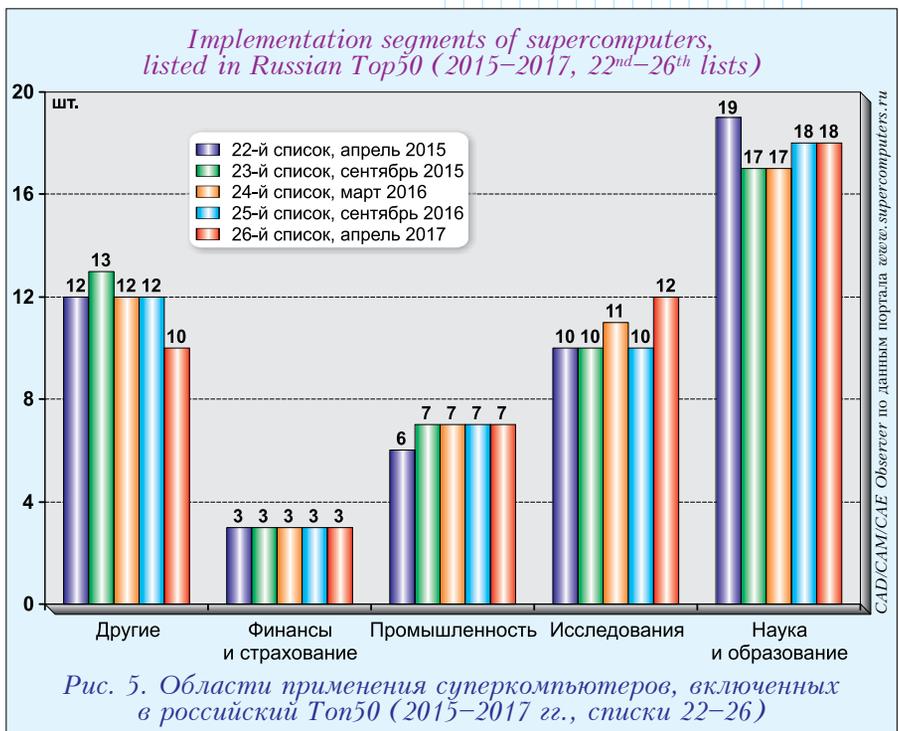
этому важному параметру в 39-м, 40-м и 45-м списках.

Сфера исследований по суммарной производительности применяемых суперкомпьютеров в июне 2017 года обогнала и промышленность, и образование – в 2 и 2.9 раза соответственно. Эта тенденция сохраняется на длительном временном отрезке – средние значения опережения, взятые за период с ноября 2005 года по июнь 2017 года, составляют соответственно 2.0 и 2.8 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 по числу инсталляций систем ВПВ, так и по суммарной производительности. Туда попадают суперкомпьютеры, 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 2017 г. для научных исследований в России было задействовано 12 систем, на промышленность работало 7 систем, в области финансов и страхования – 3. В сфере высшего образования и науки сейчас занято 18 супервычислителей (напомним, что в марте 2011 года в этой сфере работало



30 систем, то есть на 12 больше). Для сравнения с состоянием годичной и двухгодичной давности приведем цифры на март 2016-го (11, 7, 3 и 17 систем) и на март 2015-го (10, 6, 3 и 19 систем) соответственно.

Региональный срез рейтинга Top500

Наша региональная “табель о рангах” позволяет препарировать состояние дел в США, Китае, Евросоюзе, Японии и России. Данные за два

последних года (списки 45÷49 рейтинга Top500) наглядно отображены на диаграммах (рис. 6÷12). На рис. 8, 9, построенных для последних пяти лет (списки 40÷49), можно проследить тенденции в развитии регионов, построивших супервычислители петафлопсного класса и имеющих амбиции пересечь экзафлопсный рубеж.

✓ США

По состоянию на июнь 2017 года (49-й список), в США инсталлировано 169 суперкомпьютеров (33.8% от общего числа систем уровня Top500), что на 2 меньше, чем полгода назад: в ноябре 2016 года (48-й список) в США насчитывалось 171 система (34.2%). В 45-м, 46-м и 47-м списках этот показатель составлял 46.6%, 39.8% и 33% соответственно. Ранее, на протяжении всего периода существования наших обзоров, который берет отсчет с 2005 года, доля США неизменно превышала половину – вплоть до ноября 2013 г.

Лидером регионально-го рейтинга по количеству инсталлированных систем вновь стали США, отодвинувшие Китай на 2-е место. В июне 2017 г. количество американских систем составило 169, а их доля в Top500 – 33.8%.

В июне 2017 года суммарная производительность упомянутых систем достигла 251.7 Pflops. За год этот показатель вырос с 173.2 Pflops на +45.3%. При этом их доля в общей производительности Top500 за год выросла с 30.5% до 33.6%. 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%).

По суммарной производительности инсталлированных систем США снова опережают Китай. За год этот показатель у американских систем вырос на +45.3% – с 173.2 до 251.7 Pflops.

Amount of supercomputers, listed in Top500, installed in developed and emerging regions (2015–2017, 45th–49th lists)

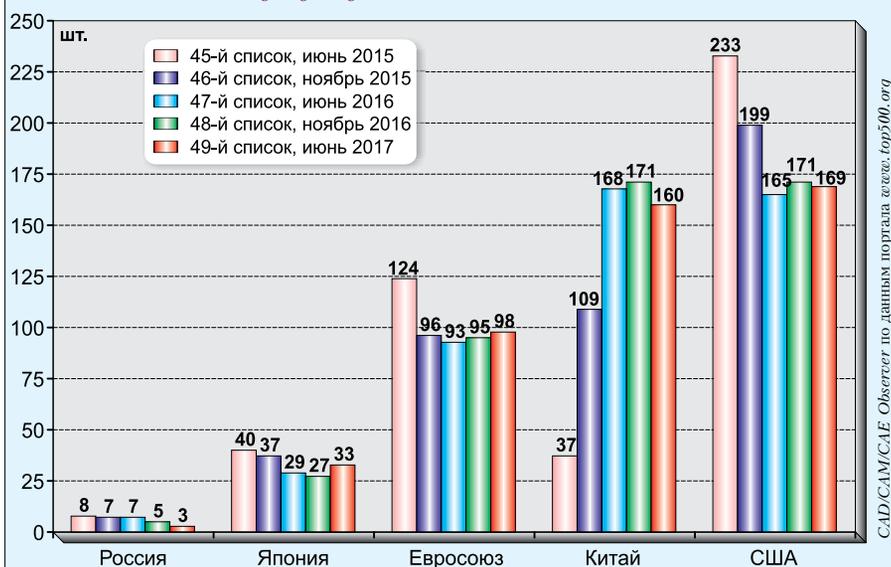


Рис. 6. Количество суперкомпьютеров из Top500 в развитых и развивающихся регионах мира (2015–2017 гг., списки 45–49)

Total performance of supercomputers, listed in Top500, installed in developed and emerging regions (2015–2017, 45th–49th lists)

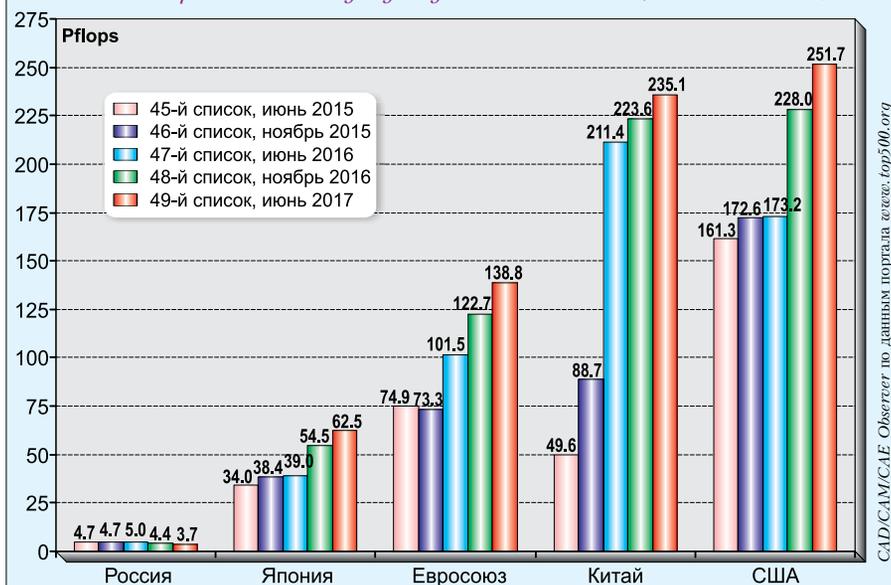


Рис. 7. Суммарная производительность суперкомпьютеров из Top500 в развитых и развивающихся регионах мира (2015–2017 гг., списки 45–49)

✓ **Китай**

За прошедший год доля Китая в *Top500* немного уменьшилась – до 32% (160 систем в 49-м списке); в 47-м списке было 168 китайских систем (33.6%). Таким образом, Поднебесная уступила Соединенным Штатам первое место по числу систем, включенных в *Top500*. Напомним, что при сравнении с данными двухгодичной давности (7.4% или 37 систем в 45-м списке) рост составляет 4.3 раза.

По суммарной производительности топовых суперкомпьютеров в 49-м списке (235.1 *Pflops* или

31.4%) Китай также уступил 1-е место США. За год этот важный показатель вырос всего на +11.2% (в 47-м списке – 211.4 *Pflops* или 37.3%), однако за два года – в 4.74 раза (в 45-м списке – 49.6 *Pflops* или 13.7%).

✓ **Евросоюз**

Число систем из стран ЕС в 49-м списке *Top500* составило 98 (19.6% от общего числа суперкомпьютеров уровня *Top500*). За год оно немного увеличилось: в июне 2016 года таких систем было 93 (18.6%).

Суммарная производительность этих 98-ми систем составляет 138.8 *Pflops* (18.5% от общего значения для *Top500*). За год этот показатель увеличился на +36.7% – с 101.5 *Pflops* (17.9% от общего).

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 – 37.5 *Pflops*, 28 систем;
- Франция – 25.3 *Pflops*, 17 систем;
- Великобритания – 30.7 *Pflops*, 17 систем.

На долю этих трех стран приходится 63.3% суперкомпьютеров из *Top500* на территории ЕС и 67.4% их суммарной производительности.

Год назад, в июне 2016-го, показатели лидеров суперкомпьютерной отрасли ЕС были следующими:

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

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

Отметим, что в 49-й список *Top500* попали супервычислители 14-ти из 28-ми стран Евросоюза (год назад таких стран было ровно столько же). Но теперь, когда уже известно о выходе Великобритании из ЕС, совершенно ясно, что через два года расстановка суперкомпьютерных сил в ЕС сильно изменится.

Regional shares of amount of supercomputers for 2012–2017 (Top500, 40th–49th lists)

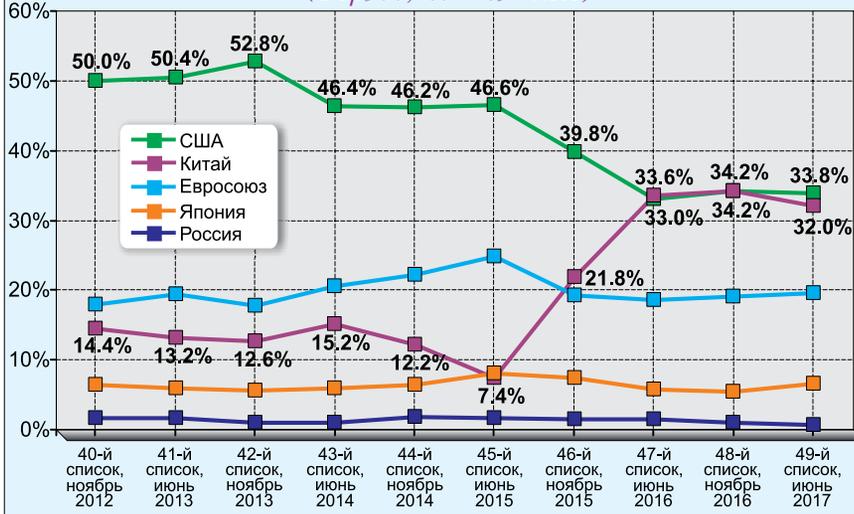


Рис. 8. Изменение региональных долей от общего количества суперкомпьютеров из Top500 в период 2012–2017 гг. (списки 40–49)

Regional shares of total performance of supercomputers for 2012–2017 (Top500, 40th–49th lists)

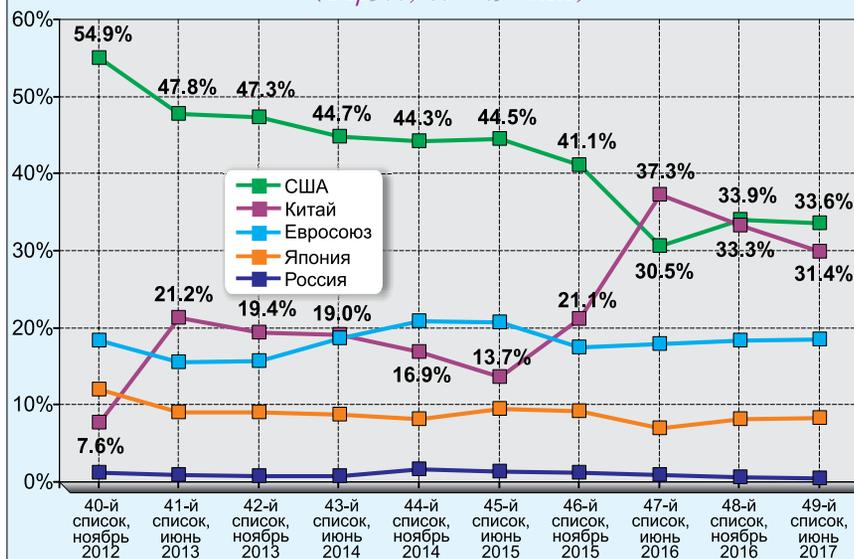


Рис. 9. Изменение региональных долей от суммарной производительности суперкомпьютеров из Top500 в период 2012–2017 гг. (списки 40–49)

Shares of amount of supercomputers, installed in developed and emerging regions, listed in Top500 – 2017, 49th list



Рис. 10. Региональное распределение суперкомпьютеров из Top500 в 2017 г. (список 49)

Shares of total performance of supercomputers, installed in developed and emerging regions, listed in Top500 – 2017, 49th list



Рис. 11. Региональное распределение суммарной производительности суперкомпьютеров из Top500 в 2017 г. (список 49)

✓ Япония

Число установленных в Стране Восходящего Солнца систем за год увеличилось с 29 (5.8% от общего значения для Top500) в 47-м списке до 33 (6.6%) в 49-м списке. Их суммарная производительность в 49-м списке достигла 62.9 Pфlops (8.4% от общей), увеличившись на +50% по

сравнению с 47-м списком (39.0 Pфlops или 6.9% от общей).

В последних девяти списках (с 41-го по 49-й) Япония неизменно занимает 4-е место по величине суммарной производительности. Напомним, что на 2-й позиции эта страна находилась в июне и ноябре 2011 года с показателями 11.2 Pфlops

Total performance of supercomputers, listed in Russian Top50 (2010–2017, 13th–26th lists)

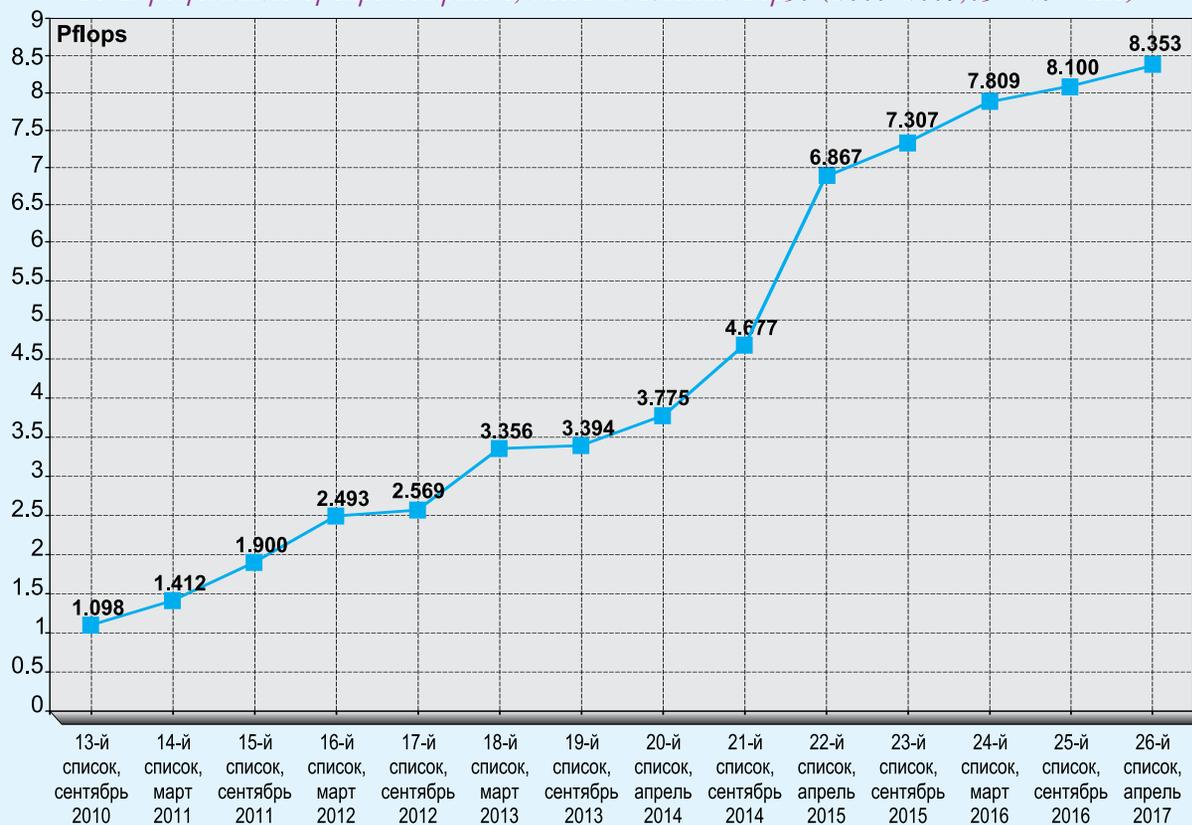


Рис. 12. Динамика роста суммарной производительности суперкомпьютеров, включенных в российский Top50, за период 2010–2017 гг. (списки 13–26)

(19% от общей) и 14.2 Pfllops (19.2%), что было достигнуто благодаря рекордсмену 37-го и 38-го списков – K computer.

✓ **Россия**

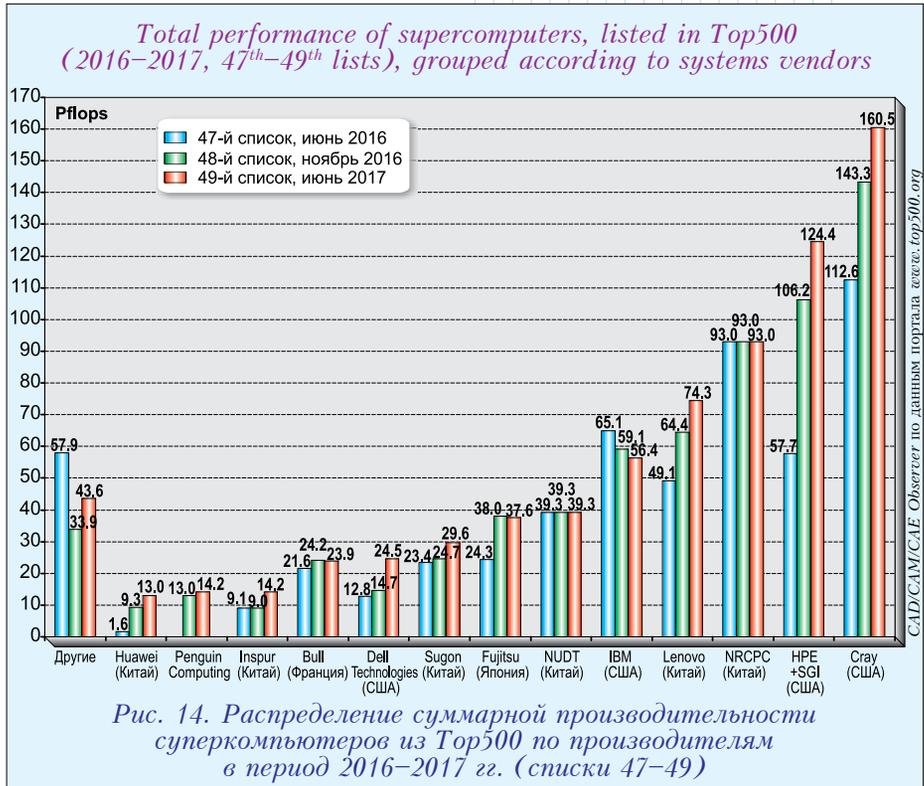
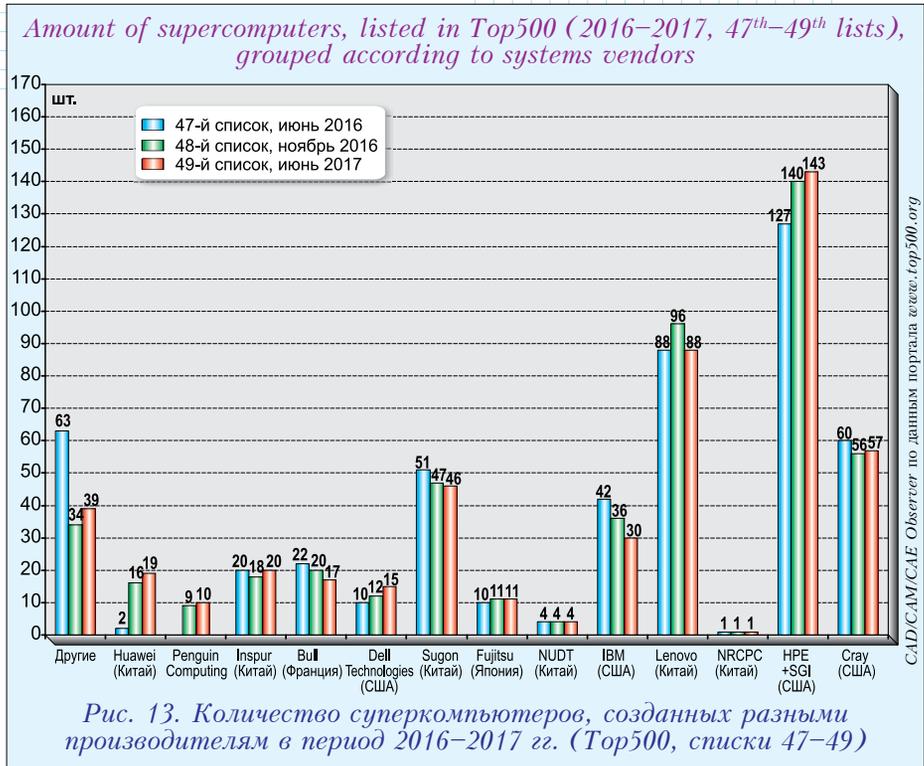
Российская Федерация в 49-м списке Top500 представлена всего тремя системами (0.6% от общего числа в Top500) с суммарной производительностью 3.662 Pfllops (0.49% от общего значения в Top500). Год назад в 47-м списке были представлены семь систем (1.4%) с суммарной производительностью 4.99 Pfllops (0.88%).

Надо отметить, что по состоянию на июнь 2017 года суммарная мощность российских суперкомпьютеров из Top500 (3.662 Pfllops) оказалась существенно меньше общей производительности систем, включенных в марте 2017 года в 26-й список российского рейтинга Top50, – 8.353 Pfllops (рис. 12).

Единственным российским петафлопсником (то есть суперкомпьютером с производительностью, превышающей 1 Pfllops) пока остается система с реальной производительностью 2.102 Pfllops, пиковой (расчетной) производительностью 2.962 Pfllops и вычислительной эффективностью 71%; эта машина введена в строй в Суперкомпьютерном центре МГУ им. М.В. Ломоносова и впоследствии модернизирована компанией “Т-Платформы”. В текущем 49-м списке Top500, опубликованном на пару месяцев позже, система заняла 59-е место. Отставание российского петафлопсника по производительности от мирового лидера, китайского Sunway Taihu-Light, составляет 44.3 раза.

Напомним, что российский суперкомпьютер, установленный в Национальном центре управления обороной Российской Федерации, о котором мы писали в прошлогоднем обзоре [9], имеет производительность 16 Pfllops (к сожалению, не уточняется, о реальном или пиковом быстродействии идет

речь; однако известно, что у этой системы есть потенциал роста – как минимум, в два раза). Если бы этот суперкомпьютер был заявлен на включение в рейтинг Top500, то для него в 49-м списке нашлось бы 6-е или 8-е место (в зависимости от того, к реальной или пиковой производительности



относится показатель 16 *Pflops*). В любом случае он оказался бы в первой десятке!

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 10 *Pflops*, в расчет не принимались.

Рассматриваемые компании (организации) условно можно разделить на следующие три группы (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*;

2) участники мирового рынка *HPC*-систем – *Hewlett-Packard Enterprise* (вместе с недавно приобретенной *SGI*), *Lenovo*, *Bull*, *Dell Technologies*;

3) участники региональных рынков *HPC*-систем – *Sugon Information Industry*, *Inspur*, *Penguin Computing*, *Huawei*.

Начиная с 41-го списка, по количеству установленных суперкомпьютеров лидирует компания *Hewlett-Packard Enterprise (HPE)*. В трех последних списках (июнь и ноябрь 2016 г., июнь 2017 г.) показатели *HPE* таковы: 127, 140 и 143 системы соответственно (рис. 13).

На 2-м месте в 49-м списке находится китайская компания *Lenovo*, в активе которой в июне и ноябре 2016 года и в июне 2017-го значилось 88, 96 и 88 систем соответственно.

На 3-м месте компания *Cray*, построившая 60, 56 и 57 систем – в июне и ноябре 2016 года и в июне 2017 года соответственно.

На 4-е место в трех последних списках поднялась китайская компания *Sugon* – 51, 47 и 46 систем.

Всего лишь на 5-м месте оказалась в 49-м списке (после продажи части своего серверного бизнеса компании *Lenovo*) именитая корпорация *IBM*, построившая 42, 36 и 30 систем из пятисот в трех последних списках соответственно.

Лидером по числу построенных суперкомпьютеров уровня *Top500* остается компания *Hewlett-Packard Enterprise* – на её счету 143 системы.

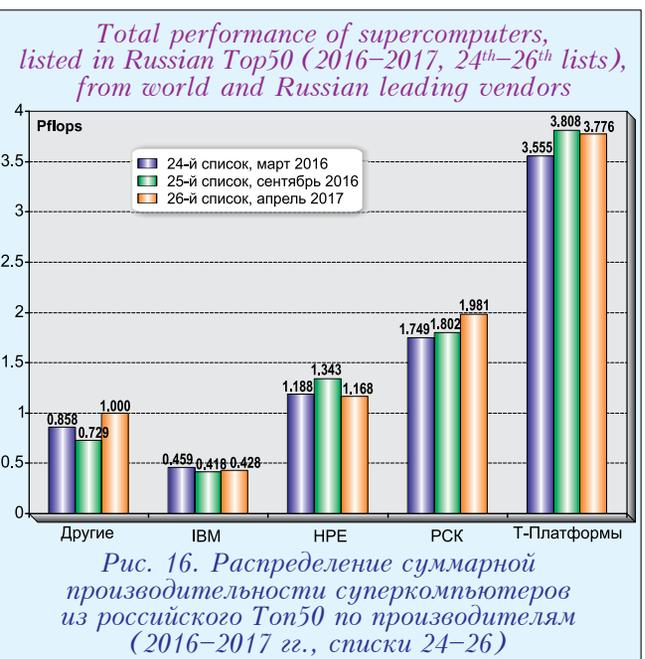
В аспекте суммарной производительности установленных систем лидером *Top500*, начиная с 45-го списка, является компания *Cray* (рис. 14). В июне и ноябре 2016 года и в июне 2017-го этот важнейший показатель её супервычислителей имел значение 112.7, 143.3 и 160.5 *Pflops* соответственно.

Вторую позицию теперь занимают системы от *HPE* с показателями в трех последних списках 57.7, 106.2 и 124.4 *Pflops* соответственно. Таким образом, *HPE* стала второй после *Cray* компанией, чьи суперкомпьютеры преодолели порог в 100 петафлопс (суммарно).

На третьем месте по суммарной производительности теперь находится китайский исследовательский центр *NRCPC*. За год его показатель не изменился – 93.0 *Pflops*.

На четвертую позицию поднялась компания *Lenovo* с показателями 49.1, 64.4 и 74.5 *Pflops* в 47-м, 48-м и 49-м списках *Top500*.

На 5-е место по суммарной производительности съехала компания *IBM*. Этот показатель в трех последних списках постепенно уменьшался: 65.1, 59.1 и 56.4 *Pflops* соответственно.



Лидером по суммарной производительности систем в Top500 остается компания *Cray* с показателем 160.5 Pflops.

На российском рынке ситуация следующая. Лидером является компания “Т-Платформы” – в апреле 2017 года, по данным 26-го списка Top500 (рис. 15, 16), суммарная производительность восьми её систем составила 3.776 Pflops.

На 2-м месте расположилась компания “РСК” (1.981 Pflops, 9 систем). Третьим местом теперь довольствуется *Hewlett-Packard Enterprise* (1.168 Pflops, 13 систем). Четвертое место досталось компании *IBM*, производительность 10-ти систем которой на российском рынке не достигает и полупетафлопса – 0.428 Pflops.

Еще раз можно выразить сожаление, что из соображений секретности в публичном пространстве нет данных о разработчиках суперкомпьютера для МО РФ.

Число процессорных ядер в суперкомпьютерах

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

В 49-м списке наиболее популярными остаются 12-ядерные процессоры – на их базе построено 158 систем. Пик их популярности пока приходится на предыдущий, 48-й список – 159 систем.

Популярность 10-ядерных процессоров была на пике в 44-м списке – на их базе было построено 87 систем; 8-ядерные процессоры были наиболее применяемыми в 42-м списке (285 систем); 6-ядерные – в 39-м списке (235 систем); а 4-ядерные – в 34-м списке (426 систем).

Наибольшей популярностью при строительстве суперкомпьютеров, включенных в 49-й список Top500, пользовались 12-ядерные процессоры, на базе которых создано 158 систем.

Что же касается 16- и 14-ядерных процессоров, то пик их использования пока приходится на 49-й список – 64 системы и 48 систем соответственно. Число суперкомпьютеров на базе 18-ядерных процессоров в 49-м списке выросло до 35-ти, а 20-ядерных – до 16-ти. Число систем на базе 32-ядерных процессоров пока остановилось на

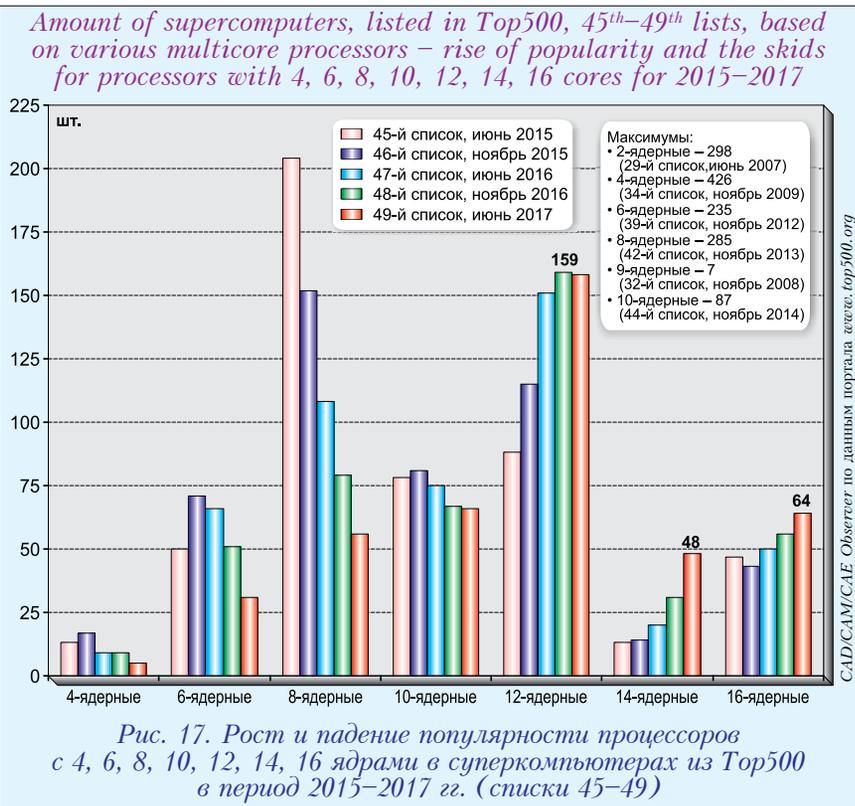


Рис. 17. Рост и падение популярности процессоров с 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 ядрами в суперкомпьютерах из Top500 в период 2015–2017 гг. (списки 45–49)

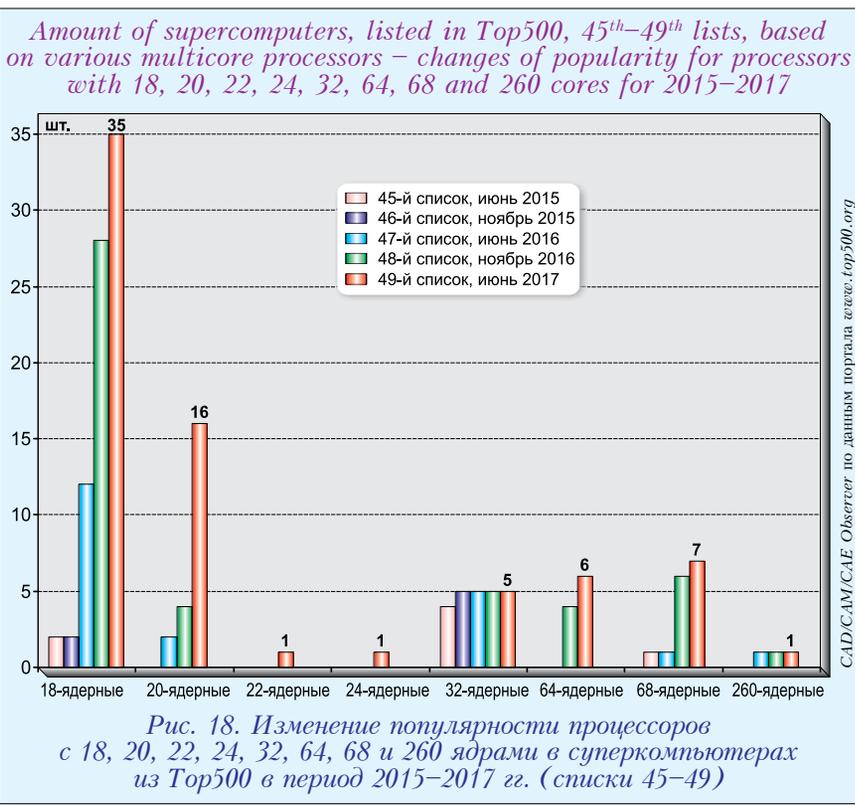


Рис. 18. Изменение популярности процессоров с 18, 20, 22, 24, 32, 64, 68 и 260 ядрами в суперкомпьютерах из Top500 в период 2015–2017 гг. (списки 45–49)

цифре 5. За прошедший год востребованными стали 64- и 68-ядерные процессоры – построено 6 и 7 систем соответственно.

Кроме того, в последних трех списках (с 47-го по 49-й) имеется одна система, построенная с использованием 260-ядерных процессоров.

Наиболее распространенное суммарное число ядер в одной системе сейчас лежит в пределах от

32k до 64k, где $k = 1024$. В текущем 49-м списке таких систем оказалось 176. Пик популярности систем с суммарным числом ядер от 16k до 32k пока пришелся на 43-й список – 201 система (рис. 19).

Суперкомпьютеры с рекордными характеристиками содержат значительно больше ядер – их число превышает 256k (рис. 20). Количество таких вычислителей в 49-м списке достигло 16.

Рекордсменом в этой номинации является *Sunway TaihuLight*, лидер 49-го списка *Top500*: общее число его ядер равно 10 649 600 или 10.17M ($M = 1024 \times 1024$). Далее следуют системы:

- *Gyokou* с 3 176 000 ядер (3.03M), занявшая 69-е место в 49-м списке (разработчик – японская компания *Exascaler*);
- *Tianhe-2*, лидер 41-46 списков, – 3 120 000 ядер (2.98M);
- *Sequoia*, лидер 39-го списка, – 1 572 864 ядра (1.5M);
- *Shoubu* с 1 181 952 ядрами (1.13M), занявшая 137-е место в 49-м списке (разработчики – японские компании *PEZY Computing* и *Exascaler*);
- *Mira* – 786 432 ядра (0.75M);
- *K computer*, лидер списков 2011 года, – 705 024 ядра (0.67M);
- *Cori* – 622 336 ядер (0.59M);
- *Titan*, лидер 40-го списка, – 560 640 ядер (0.53M);
- *Oakforest-PACS* – 556 104 ядра (0.53M).

Отметим, что четыре из девяти названных систем являются гибридными.

Для супервычислителей из российского *Топ50* этот показатель значительно скромнее (рис. 21). В 26-м списке, опубликованном в апреле 2017 года, всего шесть систем из 50-ти имеют от 16k до 32k процессорных ядер (тогда как в *Топ500* это вторая по популярности конфигурация – 173 системы).

Как и четыре года назад, лишь один супервычислитель – “Ломоносов”, предыдущий лидер российского *Топ50*, – 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.

К категории систем с числом ядер от 32k до 64k (это наиболее популярная конфигурация в *Топ500* – 176 систем) относится только

Amount of supercomputers, listed in Top500 (2015–2017, 45th–49th lists), based on definite number of processor cores (< 64k)

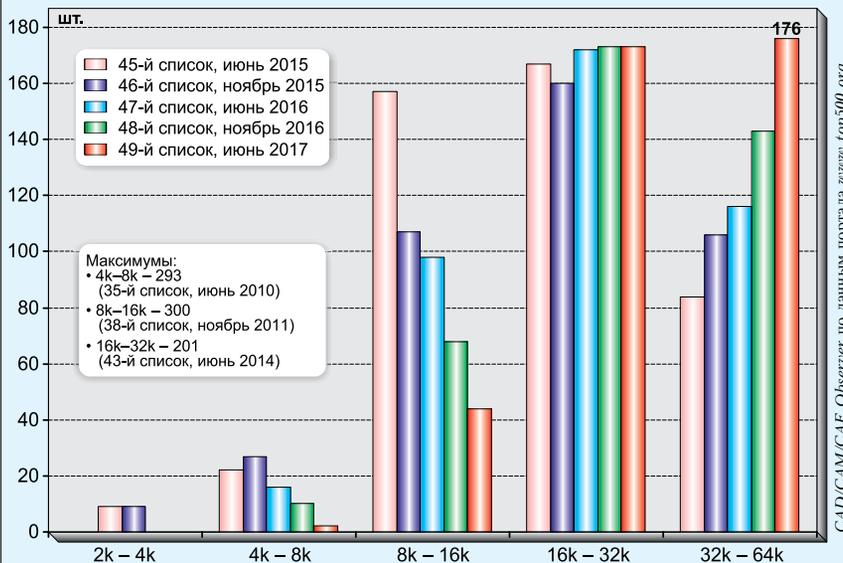


Рис. 19. Количественное распределение суперкомпьютеров в Top500 (2015–2017 гг., списки 45–49) в зависимости от числа процессорных ядер (< 64k)

Amount of supercomputers, listed in Top500 (2015–2017, 45th–49th lists), based on extreme number of processor cores (> 64k)

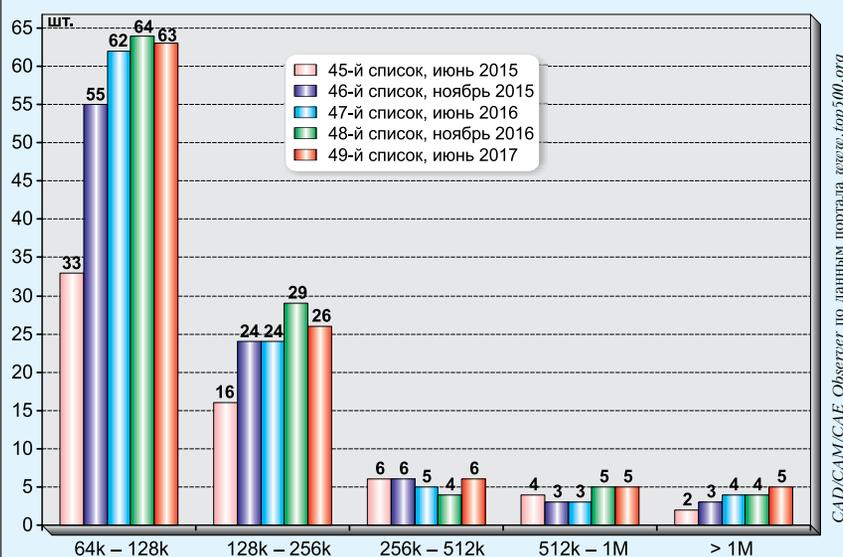


Рис. 20. Количество суперкомпьютеров в Top500 с экстремальным числом процессорных ядер (> 64k) в период 2015–2017 гг. (списки 45–49)

нынешний лидер российского Top50, который в Top500 проходит под названием “Ломоносов-2”. По данным 24-го списка, в марте 2016 года у 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 было зафиксировано год назад в 47-м списке Top500.

Суперкомпьютеры с гибридной архитектурой

В текущем 49-м списке Top500 доля систем с гибридной архитектурой (таковых имеется 89) составила 17.8%. Это на четыре системы меньше, чем год назад в 47-м списке (93 системы или 18.6%), однако на 4 больше, чем полгода назад в 48-м списке (17% или 85 систем).

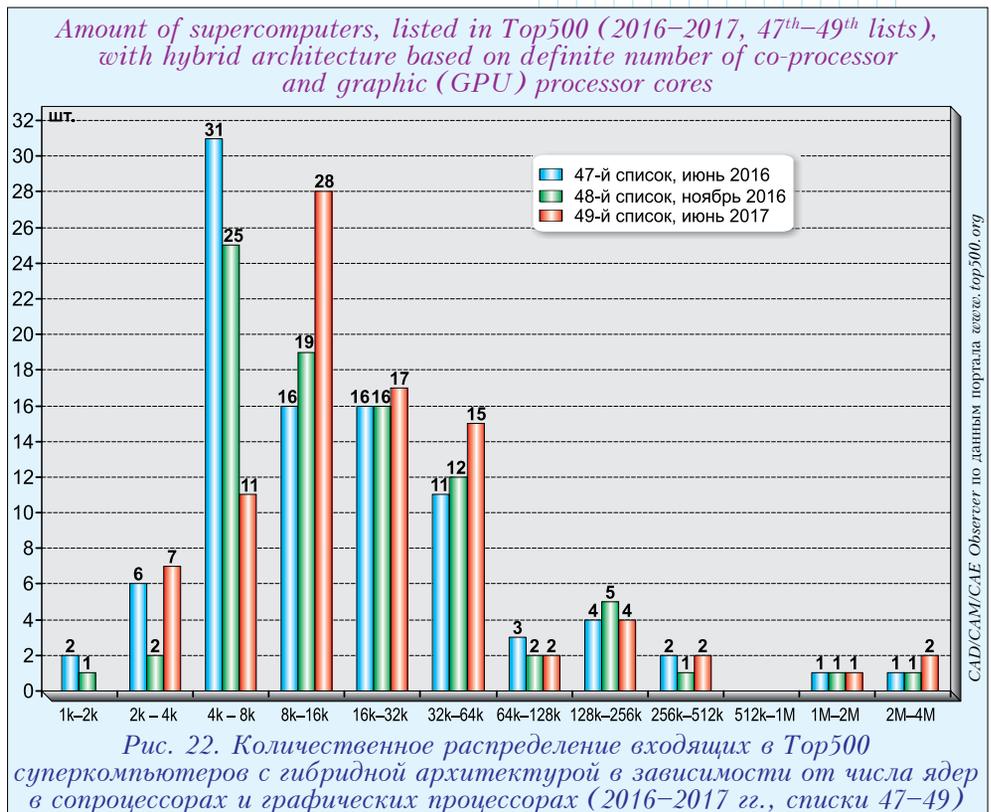
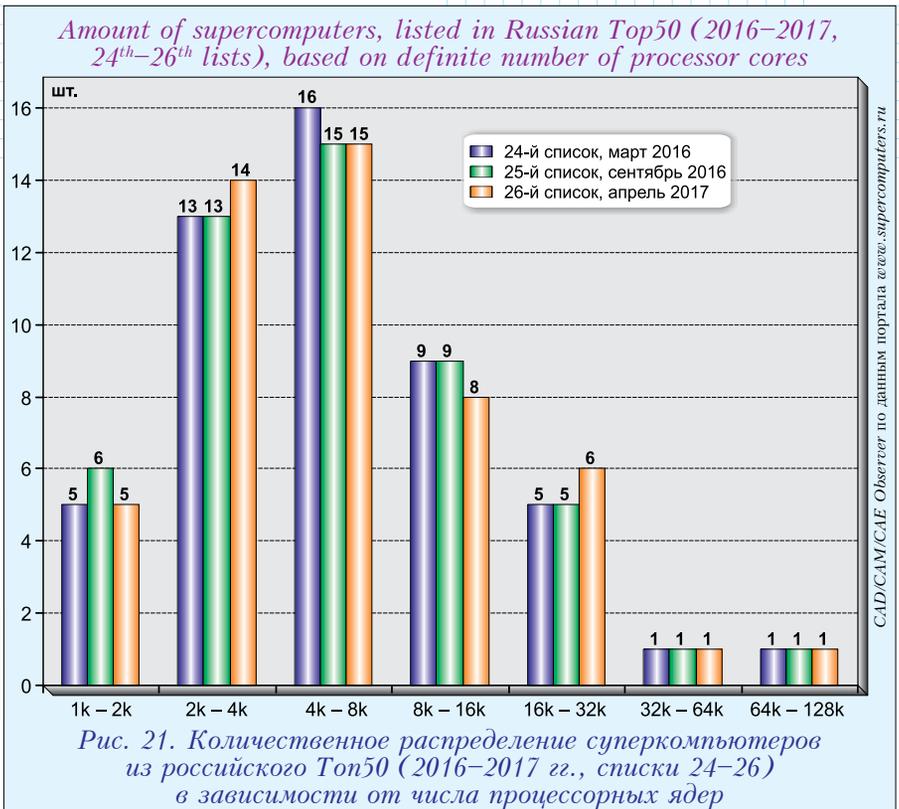
Число суперкомпьютеров с гибридной архитектурой составляет 89 – это 17.8% от включенных в Top500 систем.

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

Сейчас в первой десятке Top500 представлены три гибридные системы: Tianhe-2 (2-е место), Piz Daint (3-е место) и Titan (4-е место).

В июне 2017 года наиболее популярной в гибридных системах является комбинация “Intel + NVIDIA GPU”. Всего в Top500 таких систем насчитывается 67 (рис. 23); полгода и год назад их было 58 и 62 соответственно. На втором месте находится сочетание “Intel + Xeon Phi” (14 суперкомпьютеров); полгода и год назад их было 21 и 23 соответственно.

По суммарной производительности среди гибридных суперкомпьютеров на лидирующих позициях находится комбинация “Intel + NVIDIA GPU” – 90.3 Pflops, прирост



Amount of supercomputers, listed in Top500 (2015–2017, 45th–49th lists), grouped according to processor vendors

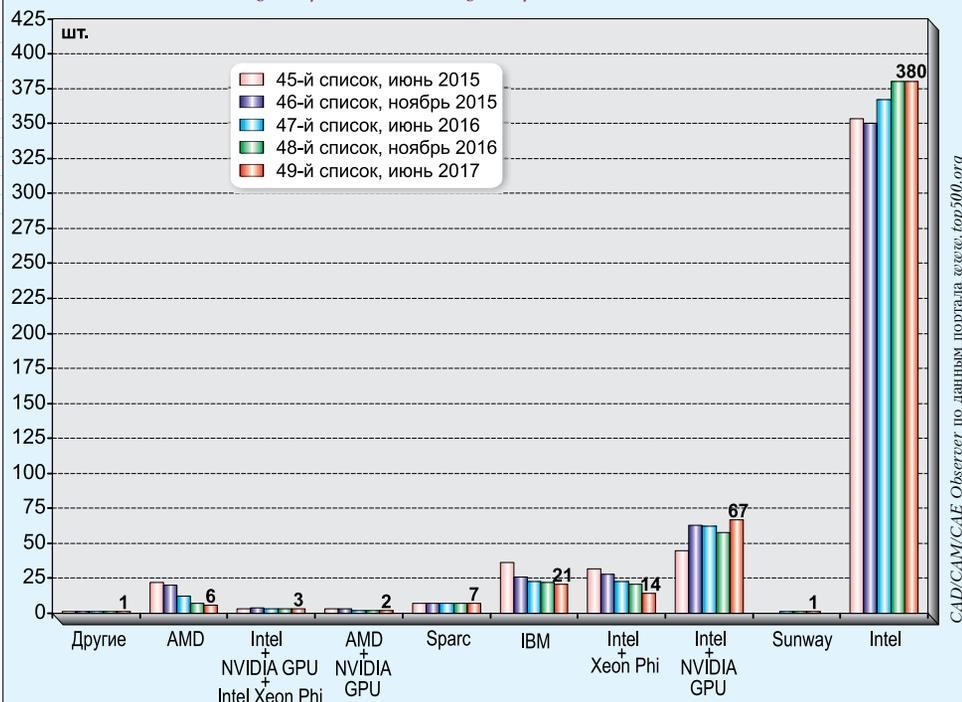


Рис. 23. Количественное распределение суперкомпьютеров из Top500 в зависимости от производителя процессоров (2015–2017 гг., списки 45–49)

Total performance of supercomputers, listed in Top500 (2015–2017, 45th–49th lists), grouped according to processor vendors

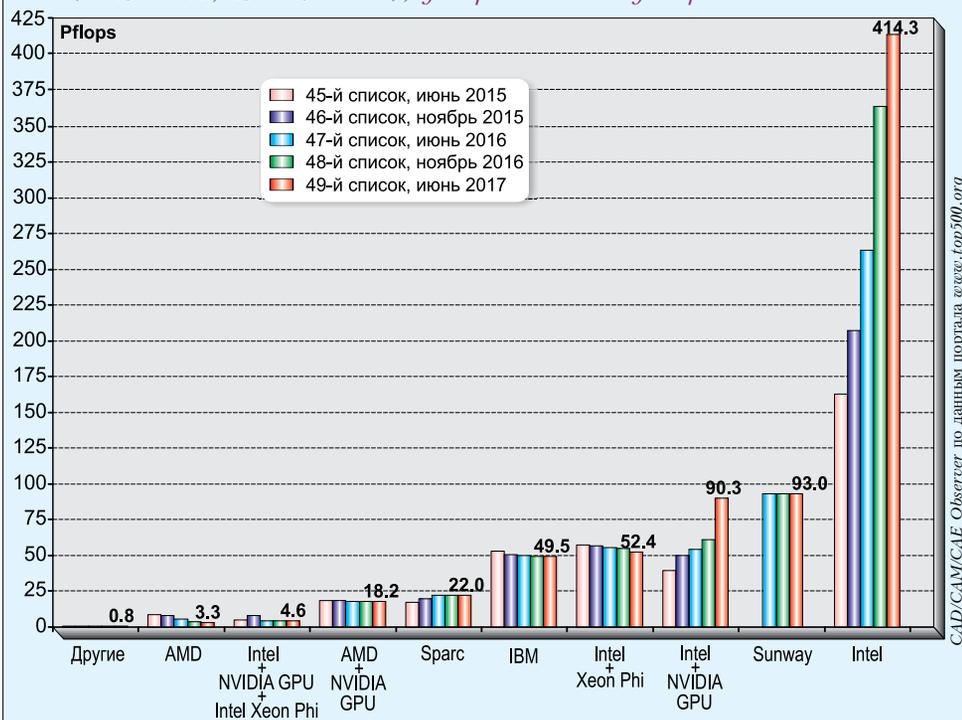


Рис. 24. Распределение суммарной производительности суперкомпьютеров в Top500 в зависимости от производителя процессоров (2015–2017 гг., списки 45–49)

за полгода и год составил +29.1 и + 36 Pflops соответственно.

На втором месте находится сочетание “Intel + Xeon Phi” – 52.4 Pflops (рис. 24), представленное в том числе и бывшим рекордсменом по имени Tianhe-2. Для этой категории гибридных систем уменьшение за полгода и год составило -3.3 и -2.7 Pflops.

На третьем месте остается малораспространенная (всего две 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 + NVIDIA GPU”: этот показатель составил 90.3 Pflops (число систем – 67).

В апреле 2017 года в 26-м списке российского Top500 гибридную архитектуру имеет 17 систем из 50-ти (рис. 25), что на четыре системы меньше, чем год назад и на одну меньше, чем полгода назад.

Наиболее популярной в России является комбинация “Intel + NVIDIA GPU” – 16 систем (за год их стало на две больше).

В завершение разговора о гибридных решениях обратим внимание читателей на две архитектуры, воплощенные в экспериментальных супервычислителях, относящихся к классу Research. Для них пока еще не нашлось места на наших диаграммах, однако ожидается, что в самое ближайшее время на их базе будут построены системы экзафлопсного класса:

✓ IBM + NVIDIA GPU

В настоящее время система *IBM Power Systems S822LC* (реальное быстродействие 0.460 *Pflops*) реализована на 10-ядерных процессорах *IBM Power8+* (тактовая частота 2.86 *GHz*) и графических ускорителях *NVIDIA Tesla GP100*. В дальнейшем будут использоваться новейшие процессоры *IBM Power9*.

✓ Intel + PEZY-SC

По этой схеме построены два суперкомпьютера из *Top500*:

- система *ZettaScaler-1.6* (реальное быстродействие 1.001 *Pflops*) базируется на 8-ядерных процессорах *Intel Xeon E5-2618L v3* (тактовая частота 2.3 *GHz*) и процессорах *PEZY-SCnp* с 1024-мя ядрами;
- система *ZettaScaler-2.0* (реальное быстродействие 1.677 *Pflops*) реализована на основе 16-ядерных процессоров *Intel Xeon D-1571* (1.3 *GHz*) и процессоров *PEZY-SC2* с 2048-мью ядрами.

Ведущие производители процессоров для суперкомпьютеров

Поставщиком процессоров для подавляющего большинства суперкомпьютеров, входящих в *Top500*, является компания *Intel* (рис. 23). В июне, ноябре 2016 года и июне 2017-го количество систем на базе интеловских процессоров составляло 455, 462 и 464 соответственно (в том числе, гибридных систем – 88, 82, 84).

Второе место занимает *IBM* – 23, 22 и 21 система (гибридные отсутствуют).

На третьем месте идет *AMD* – 13, 9 и 8 систем (в том числе гибридных – 3, 2, 2) соответственно.

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

Сравнение по показателю суммарной производительности систем, построенных на процессорах соответствующих вендоров, для последних трех списков также оказывается в пользу *Intel* – 337.9, 484.9 и 561.5 *Pflops* (рис. 24), включая весомый вклад гибридных систем (114.6, 120.9 и 147.3 *Pflops*).

Китайский производитель *NRCPC* продемонстрировал в июне 2016 года единственную

систему с показателем 93 *Pflops* и сразу же занял второе место, которое сохранилось и в ноябре 2016 года, и июне 2017 года.

Третье место досталось компании *IBM* – 49.8, 49.5 и 49.5 *Pflops* в июне, ноябре 2016 года и июне 2017 года.

На четвертом месте – *AMD*, для которой цифры получились следующими: 23.8, 21.5 и 21.5 *Pflops*; вклад гибридных систем составляет 18.8, 18.2 и 18.2 *Pflops* соответственно.

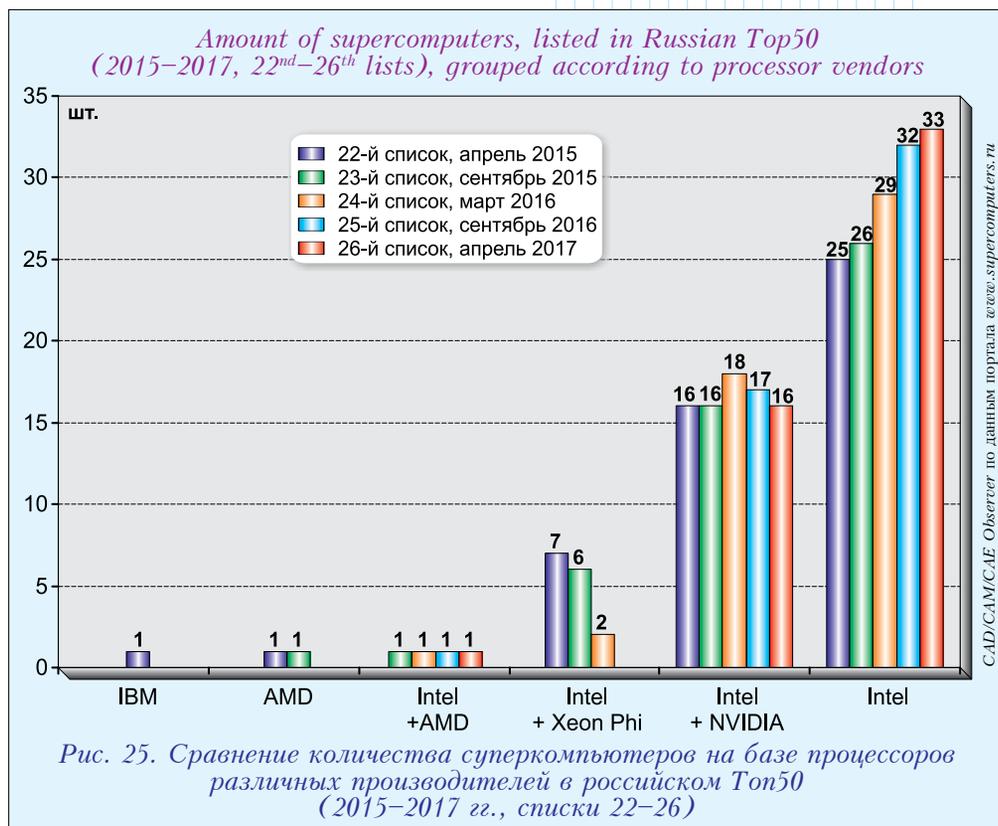
Пятое место занимает *Fujitsu* – 22.2, 22.0 и 22.0 *Pflops*.

Компания *Intel* является лидером и по количеству, и по суммарной производительности суперкомпьютеров, построенных на базе её процессоров и сопроцессоров: 464 системы и 561.5 *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*.

Как свидетельствует российский рейтинг *Top50*, ведущим производителем процессоров для суперкомпьютеров, установленных на территории РФ, является одна-единственная компания: *Intel* (рис. 25). В 26-м списке зафиксировано,



что более чем подавляющее большинство систем (точнее говоря, все 50 из 50-ти, включая 19 гибридных) 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 2016–2017 годах: обзор достижений и анализ рынков. Часть I. HPC-системы, серверы, облачная IT-инфраструктура // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2017, №4, с. 6–15.
2. Павлов С. Системы высокопроизводительных вычислений в 2015–2016 годах: обзор достижений и анализ рынков. Часть I. Суперкомпьютеры // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2016, №5, с. 4–17.
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 2013–2014 годах: обзор достижений и анализ рынков. Часть III. Суперкомпьютеры // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2014, №8, с. 75–86.
5. 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.
6. Павлов С. Системы высокопроизводительных вычислений в 2011–2012 годах: обзор достижений и анализ рынков. Части I и II // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2012, №5, с. 76–87; №8, с. 8–20.
7. Павлов С. Системы высокопроизводительных вычислений в 2010–2011 годах: обзор достижений и анализ рынков. Части I и II // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2011, №5, с. 74–80; 2012, №1, с. 79–90.
8. Павлов С. Системы высокопроизводительных вычислений в 2015–2016 годах: обзор достижений и анализ рынков. Часть VI. Планы и прогнозы // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2017, №2, с. 58–70.
9. Павлов С. Системы высокопроизводительных вычислений в 2015–2016 годах: обзор достижений и анализ рынков. Часть V. Итоги года // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2017, №1, с. 74–83.

◆ Новинки технической литературы ◆

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ В ALTIUM DESIGNER



**Второе издание,
переработанное и дополненное**

Объем - 554 стр.
Цена - 849 руб.



В книге подробно с применением пошаговых инструкций описан весь цикл проектирования печатной платы в системе Altium Designer – от ввода схемы до верификации проекта и выпуска рабочей документации. Рассмотрены инструменты автоматической и интерактивной трассировки, размещения и редактирования полигонов, задания и проверки конструкторско-технологических норм. Большое внимание уделено созданию и ведению библиотек.

Второе издание обновлено с учетом новых версий системы, а также включает дополнительно:

- разработку иерархических и многоканальных схем;
- приемы работы с рабочими панелями списков, генератором символов и инструментами архивирования проектов.

Книга может быть полезна разработчикам электронной аппаратуры и студентам технических вузов, начинающим осваивать систему Altium Designer.

Покупка и заказ: www.dmk.rf или dmkpress@gmail.com