

Системы высокопроизводительных вычислений в 2017–2018 годах: обзор достижений и анализ рынков

Часть III. Суперкомпьютеры

Сергей Павлов, Dr. Phys.

Внимание читателей предлагается третья часть обзора систем высокопроизводительных вычислений (ВПП) или *High-Performance Computing (HPC)*. В этом году уже опубликованы первая [1] и вторая [2] части шестого по счету комплексного обзора, выходящего под привычной общей “шапкой”.

В третьей части обсуждаются данные, фиксируемые в мировом суперкомпьютерном рейтинге *Top500* (www.top500.org), который впервые был составлен 25 лет назад. Актуальные списки публикуются два раза в год – в июне и ноябре; новейший, 51-й список появился 25 июня 2018 г. Аккумулируемые в этом рейтинге данные мы анализируем с 2005 года. Напомним, что все ранее подготовленные публикации на эту тему [3–9] по-прежнему свободно доступны на нашем сайте www.cad-cam-cae.ru.

При изложении результатов развития мировой суперкомпьютерной отрасли практически полностью сохранена структура части II прошлогоднего обзора [3]. Отметим, однако, что анализ суверенного российского рейтинга *Top50* (top50.supercomputers.ru) перенесен в специальную “российскую” часть обзора, которая будет посвящена рассмотрению информации именно о российских сегментах интересующих нас компьютерных рынков, тогда как здесь мы коснемся этого сугубо в рамках *Top500*.

Мы продолжаем наблюдать за достижениями стран с суперкомпьютерными амбициями и ведущими производителями чипов и “железа”, которые нацелились на покорение эксафлопсной – 10^{18} операций с плавающей точкой в секунду (*flops*) – вершины.

В этом году заметным успехом увенчались усилия компании *IBM*, и в суперкомпьютерной гонке вперед вырвались США с первым в мире супервычислителем, преодолевшим рубеж в **100 петафлопсов реальной** производительности. До этого лидером был Китай, обладавший системой с **пиковой** производительностью выше 100 *Pflops* (напомним, что $1 \text{ Pflops} = 10^{15} \text{ flops}$).

Теперь всё по порядку. В настоящей, 3-й части обзора вся актуализированная информация распределена по восьми разделам:

1 Интегральные показатели рейтинга *Top500*

2 Лидеры рейтинга *Top500*:

- “Горячая десятка”
- Новый лидер – американский суперкомпьютер *Summit*
- Былые рекордсмены еще в строю
- Лучшие производители лучших систем

3 Области применения систем ВПП

4 Региональный срез рейтинга *Top500*:

- США
- Китай
- Евросоюз
- Япония
- Россия

5 Ведущие производители суперкомпьютеров

6 Число процессорных ядер в суперкомпьютерах

7 Суперкомпьютеры с гибридной архитектурой

8 Ведущие производители процессоров для суперкомпьютеров.

1 Интегральные показатели рейтинга *Top500*

Суммарная производительность систем, включенных в 51-й список *Top500*, в сравнении с показателями, обнародованными полгода назад в 50-м списке, увеличилась на +43.3% – с 845.1 до 1210.9 петафлопсов, или 1.2109 *Eflops*. Если же сравнить с 49-м списком (748.7 *Pflops*), то за год прирост составил почти две трети (+61.7%). При этом мы видим, что годовые темпы роста производительности увеличились: если взять данные 49-го и 47-го списков (748.7 и 567.4 *Pflops*), то легко подсчитать, что тогда прирост был +32%. Два года назад годовой прирост превышал половину (+56.5%), как показывает сравнение данных 47-го и 45-го списков (567.35 и 362.65 *Pflops*). Три года назад этот показатель составлял практически треть (+32.5%), если сравнить данные 45-го и 43-го списков (362.65 и 273.76 *Pflops*).

Суммарная производительность суперкомпьютеров, включенных в *Top500*, впервые преодолела эксафлопсный рубеж (1210.9 *Pflops* = 1.2109 *Eflops*); прирост за год составил +61.7%.

Петафлопсовый барьер реального (по *LINPACK*) быстродействия преодолели 273 суперкомпьютера из пятисот, включенных в *Top500*, то есть больше половины (54.6%). Эти системы установлены в 25-ти странах (год назад таких продвинутых стран было 21). Приведем полный расклад: США – 86 систем, Китай – 71, Япония – 22, Великобритания – 17, Франция – 15, Германия – 14, Нидерланды – 6, Италия – 5, Австралия – 4, Ирландия – 4, Южная Корея – 4, Индия – 3, Канада – 3, Польша – 3, Саудовская Аравия – 3, Испания – 2, Россия – 2, Швейцария – 2, Бразилия – 1, Сингапур – 1, Тайвань – 1, Финляндия – 1, Чехия – 1,

Швеция – 1 и Южная Африка – 1. Евросоюз в целом является обладателем 69 петафлопсовых суперЭВМ.

За прошедший год число петафлопсников увеличилось на 135, и распределились они по миру следующим образом: США (+32 системы), Китай (+59), Великобритания (+8), Япония (+7), Нидерланды (+5), Ирландия (+4), Франция (+4), Германия (+3), Индия (+3), Австралия (+2), Южная Корея (+2), Бразилия (+1), Канада (+1), Саудовская Аравия (+1), Испания (+1), Россия (+1) и Тайвань (+1).

Реальное быстродействие, превышающее 1 петафлопс, сегодня демонстрируют 273 суперкомпьютера из *Top500*. Количество стран, обладающих такими системами, тоже увеличилось: их стало 25.

Если оценивать по пиковой производительности, то к супервычислителям петафлопсного класса можно отнести, помимо упомянутых, еще 211 систем. По странам они распределяются так: Китай (133), США (34),

Таблица 1. Первая десятка международного суперкомпьютерного рейтинга *Top500* в июне 2018 года

Место в рейтинге <i>Top500</i>	Реальная производительность <i>Pflops</i>	Общее число процессорных ядер	Название компьютера, архитектура, применяемые процессоры и ускорители	Компания-производитель	Организация, где инсталлирован суперкомпьютер	Место в рейтинге <i>Green500</i>	Энергоэффективность, <i>Mflops/W</i>
1	122.3	2 282 544	Summit (<i>IBM Power System AC922</i>) <i>IBM POWER9</i> (22 ядра, 3.1 GHz) <i>NVIDIA Tesla V100</i>	<i>IBM</i> (США)	Окриджская национальная лаборатория (шт. Теннеси, США)	5	13.889
2	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)	23	6.051
3	71.61	1 572 480	Sierra (<i>IBM Power System AC922</i>) <i>IBM POWER9</i> (22 ядра, 3.1 GHz) <i>NVIDIA Tesla V100</i>	<i>IBM</i> (США)	Ливерморская национальная лаборатория им. Э. Лоуренса (шт. Калифорния, США)	276	–
4	61.44	4 981 760	Tianhe-2A (<i>TH-IVB-FEP</i>) <i>Intel Xeon E5-2692v2</i> (12 ядер, 2.2 GHz) <i>Matrix-2000</i>	<i>NUDT</i> (Китай)	Национальный суперкомпьютерный центр (Гуанчжоу, Китай)	53	3.325
5	19.88	391 680	AI Bridging Cloud Infrastructure (<i>PRIMERGY CX2550 M4</i>) <i>Xeon Gold 6148</i> (20 ядер, 2.4 GHz) <i>NVIDIA Tesla V100 SXM2</i>	<i>Fujitsu</i> (Япония)	Национальный институт перспективной промышленной науки и технологии (Токио, Япония)	8	12.054
6	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)	11	8.622
7	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 (шт. Теннеси, США)	110	2.143
8	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 (шт. Калифорния, США)	104	2.177
9	14.18	979 968	Trinity (<i>Cray XC40</i>) <i>Intel Xeon E5-2698v3</i> (16 ядер, 2.3 GHz)	<i>Cray</i> (США)	Лос-Аламосская национальная лаборатория (шт. Нью-Мексико, США)	45	3.678
10	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 (шт. Калифорния, США)	47	3.558

Япония (13), Германия (5), Ирландия (4), Великобритания (3), Нидерланды (3), Южная Корея (3), Индия (2), Канада (2), Россия (2), Франция (2), Швеция (2), Австралия (1), Польша (1) и Сингапур (1).

Напомним, что Новая Зеландия и Норвегия, как и год назад, пока имеют лишь по одному петафлопснику, причем, отнесенному к этой категории по критерию только пиковой, а не реальной производительности.

Supercomputers Summit (USA), the champion of world's Top500 rate in June 2018, have been mounted with 4 356 nodes based on IBM POWER9 CPUs and NVIDIA Tesla V100 GPUs. Real speed of Summit system (122.3 Pflops) reached 100-Pflops-level for the first time in the world



Суперкомпьютер Summit (США), ставший лидером рейтинга Top500 в июне 2018 года, смонтирован из 4 356 вычислительных серверов, построенных на базе центральных процессоров IBM POWER9 и графических процессоров NVIDIA Tesla V100. Реальное быстродействие системы Summit (122.3 Pflops) впервые в мире преодолело рубеж в 100 Pflops

Источник: www.top500.org

Each of 4 356 nodes of Summit system is based on two 22-cores IBM POWER9 CPU (3.1 GHz clock frequency) and six 80-cores NVIDIA Tesla V100 GPU



Каждый из 4 356 вычислительных серверов, из которых построена система Summit, состоит из двух 22-ядерных центральных процессоров IBM POWER9 (тактовая частота 3.1 GHz) и шести 80-ядерных графических процессоров NVIDIA Tesla V100

Источник: www.nvidia.com

По пиковому быстродействию уже почти все суперкомпьютеры, включенные в Top500, относятся к петафлопсному классу: 484 системы из 500, или 96.8%. Обладают такими системами 27 стран.

2 Лидеры рейтинга Top500

2.1. “Горячая десятка”

В “горячей десятке” новейшего, 51-го списка Top500 появились три новых имени (отмечены в табл. 1 более темной закрашкой):

- новый лидер рейтинга – система Summit;
- бронзовый призер – система Sierra “лидерской” архитектуры;
- на 5-м месте – AI Bridging Cloud Infrastructure (ABCI).

Две системы подверглись глубокой модернизации и нарастили мускулы (отмечены в табл. 1 более светлой закрашкой):

- 4-е место – Tianhe-2A;
- 9-е место – Trinity.

Остаток подостывшей “горячей десятки” 49-го списка в десятке свежей испеченной составляют пять знакомых имен: недавний лидер Sunway TaihuLight, а также системы Piz Daint, Titan, Sequoia и Cori K, отранжированные, как показано в табл. 1.

Обращаем внимание читателей, что позиции пяти старожил и двух модернизированных систем изменились не только в Top500, но и в рейтинге энергоэффективности Green500, который теперь является составной частью Top500.

Следует отметить, что из “горячей десятки” 51-го списка выпала японская система Gyokou с реальным быстродействием 19.1358 Pflops, занимавшая 4-е место в предыдущем, 50-м списке, опубликованном в ноябре 2017 года. Эта система была создана для организации Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology. Напомним, что по тому же адресу прописан и суперкомпьютер Earth Simulator с быстродействием 35.86 Tflops, который лидировал

в *Top500* полтора десятилетия назад: с 2002 по 2004 гг.

По всей видимости, исключение системы *Gyokou* из рейтинга связано со скандалом, порвавшим публику в декабре 2017 года, когда по подозрению в мошенничестве был задержан *Motoaki Saito* – президент японской компании *PEZY Computing*, разработавшей графические ускорители *PEZY-SC2* для системы *Gyokou*.

2.2. Новый лидер – американский суперкомпьютер *Summit*

Теперь перейдем к описанию 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 реальной производительности.**

Итак, 51-й список рейтинга *Top500* возглавил американский суперкомпьютер

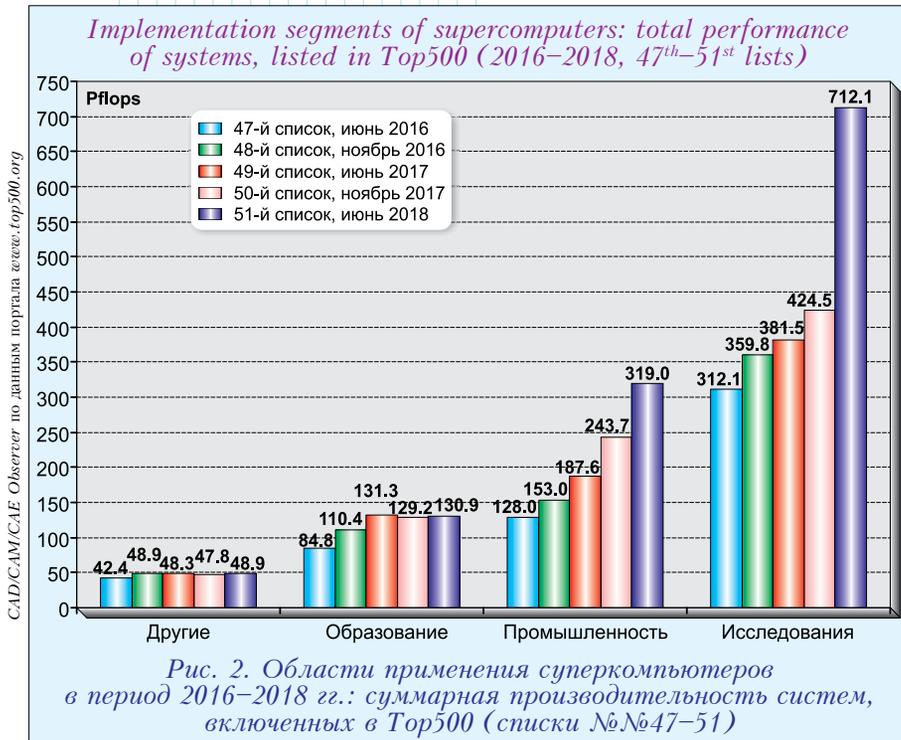
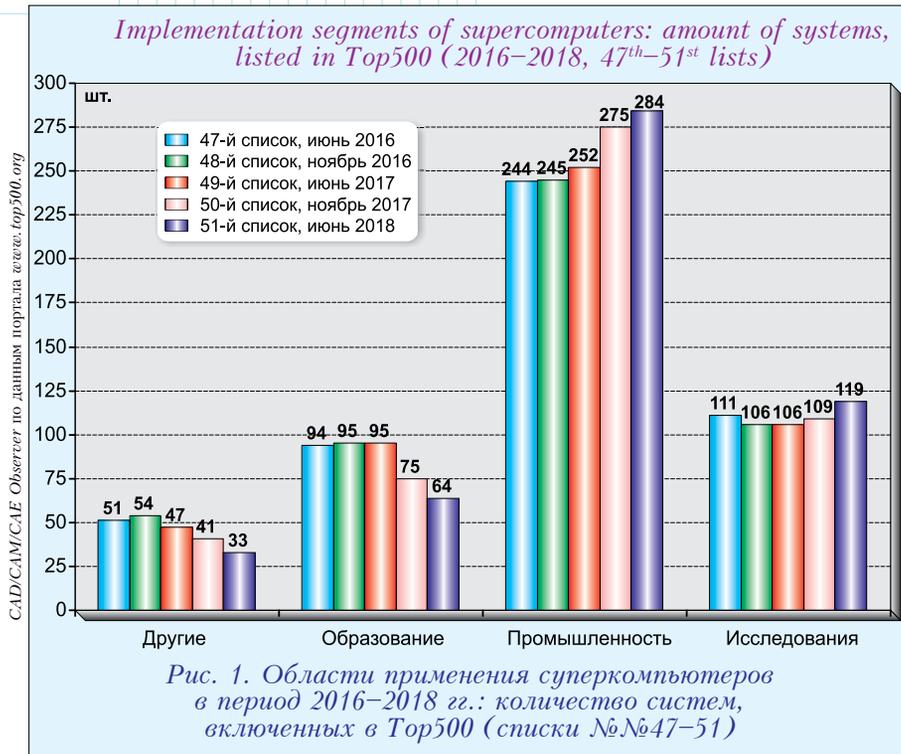
Summit, разработанный компанией *IBM* и установленный в Окриджской национальной лаборатории (шт. Теннесси, США). Показатель его реальной производительности, рекордный на настоящий момент, составляет **122.3 Pflops**. Пиковая производительность достигает **187.6593 Pflops**, а вычислительная эффективность – 65.17%. Энергоэффективность 13.889 *Gflops/W* соответствует 5-му месту в рейтинге *Green500*.

Рекордсмен построен из 4356-ти вычислительных серверов (*node*), каждый из которых состоит из двух 22-ядерных центральных процессоров *IBM POWER9* (тактовая частота 3.1 GHz) и шести 80-ядерных графических процессоров *NVIDIA Tesla V100*. Существенно, что процессоры оптимизированы для решения задач с применением алгоритмов искусственного интеллекта.

Общее число процессорных ядер суперкомпьютера *Summit* составляет внушительную величину – 2 282 544, включая 191 644 ядра центральных процессоров и 2 090 880 ядер графических процессоров.

Реальное быстродействие впервые в мире превысило рубеж в 100 Pflops: у лидера 51-го списка, американского суперкомпьютера *Summit*, этот показатель достиг 122.3 Pflops. Рекордсмен вмещает в себя 2 282 544 ядра – он состоит из 8712-ти 22-ядерных центральных процессоров *IBM POWER9* и из 26 136-ти 80-ядерных графических процессоров *NVIDIA Tesla V100*.

Отметим, что *Summit* лидирует в 51-м списке с солидным



отрывом от предыдущего чемпиона – китайской системы *Sunway TaihuLight*, возглавлявшей рейтинг *Top500* начиная с 47-го списка:

- по реальной производительности – на 31.5%;
- по пиковой производительности – на 49.6%.

2.3. Былые рекордсмены еще в строю

Краткая характеристика прежних систем-победителей, попавших и в первую десятку 51-го списка *Top500*:

- китайский суперкомпьютер *Sunway TaihuLight*, лидер четырех последних списков (№№47÷50), показавший реальную производительность **93.01 Pflops**, пиковую – 125.44 Pflops, вычислительную эффективность – 74.15%. Новый лидер, *Summit*, работает быстрее *Sunway TaihuLight* в 1.32 раза;

- китайский суперкомпьютер *Tianhe-2* (на английском языке название звучит как *Milky Way-2*), лидер шести предыдущих списков (№№41÷46), демонстрировал реальную производительность **33.8627 Pflops**, пиковую – 54.9024 Pflops, вычислительную эффективность – 61.68%. После модернизации, документированной в 51-м списке (сопроцессоры *Xeon Phi* пятилетней давности заменены сопроцессорами *Matrix-2000* китайской разработки), этот супераппарат под именем *Tianhe-2A* приобрел следующие параметры: реальная производительность **61.4445 Pflops**, пиковая – 100.6787 Pflops, вычислительная эффективность – 61.03%. *Summit* быстрее *Tianhe-2A* в 1.99 раза;

- суперкомпьютер *Titan* с гибридной архитектурой от американской компании *Cray* был лидером 40-го списка. Реальное быстродействие – **17.59 Pflops**, пиковое – 27.113 Pflops, вычислительная эффективность – 64.9%. *Summit* быстрее *Titan* в 6.95 раза;

- суперкомпьютер *Sequoia* от *IBM* – победитель из 39-го списка. Реальная производительность – **17.173 Pflops**, пиковая – 20.133 Pflops,

вычислительная эффективность – 85.3%. *Summit* быстрее *Sequoia* в 7.12 раза.

2.4. Лучшие производители лучших систем

Среди производителей лидирующих суперкомпьютеров, входящих в первую десятку 51-го списка, места распределились следующим образом:

❶ Компания *IBM*, США – три системы с общей производительностью 211.0832 Pflops;

❷ *NRCPC*, Китай – одна система с производительностью 93.016 Pflops;

❸ Компания *Cray*, США – четыре системы с общей производительностью 65.332 Pflops;

❹ Национальный университет оборонных технологий (*National University of Defense Technology*), Китай – одна система с производительностью 61.4445 Pflops;

❺ Компания *Fujitsu*, Япония – одна система с производительностью 19.88 Pflops.

Компания *IBM* (США) – лидирующий разработчик вычислительных систем из первой десятки *Top500*; суммарная производительность её трех суперкомпьютеров, включая рекордсмена, составляет 211.0832 Pflops.

❸ Области применения систем ВПВ

Наибольшее количество суперкомпьютеров из *Top500* работает в промышленности (*Industry*): в 51-м списке таких насчитывается 284 (56.8% от общего числа систем). Для научных исследований (*Research*) применяются 119 систем (23.8%), а в образовании (*Academic*) – 64 системы или 12.8% (рис. 1, 3).

Год назад, в 49-м списке, распределение было следующим: в промышленности – 252 системы (50.4%); в научных исследованиях – 106 систем (21.2%), в образовании – 95 (19%). Два года назад, в списке №47, суперкомпьютеры распределялись

Shares of amount of systems, which correspond to implementation segments of supercomputers, listed in *Top500*: 2018, 51st list



Рис. 3. Количественное распределение систем из *Top500* по областям применения в 2018 г. (список №51)

Shares of total performance, which correspond to implementation segments of supercomputers, listed in *Top500*: 2018, 51st list



Рис. 4. Распределение суммарной производительности систем из *Top500* по областям применения в 2018 г. (список №51)

следующим образом: в промышленности – 244 системы (48.8%); в научных исследованиях – 111 систем (22.2%), в образовании – 94 (19.8%).

Если число систем ВПП для каждого пользовательского сегмента рассматривать 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%. Для списков с 41-го (июнь 2013 года) по 51-й (июнь 2018 года) средние значения получаются следующими: промышленность – 257, исследования – 114, образование – 90, а для списков с 31-го (июнь 2008 года) по 51-й – 272, 109, 88 систем соответственно.

По суммарной производительности в 51-м списке впереди идут суперкомпьютеры для науки – 712.1 Pflops (58.8% от общей производительности всех систем, включенных в рейтинг). На промышленность работает совокупная вычислительная мощь 319.0 Pflops (26.3%), а на образование – 130.9 Pflops или 10.8% (рис. 2, 4).

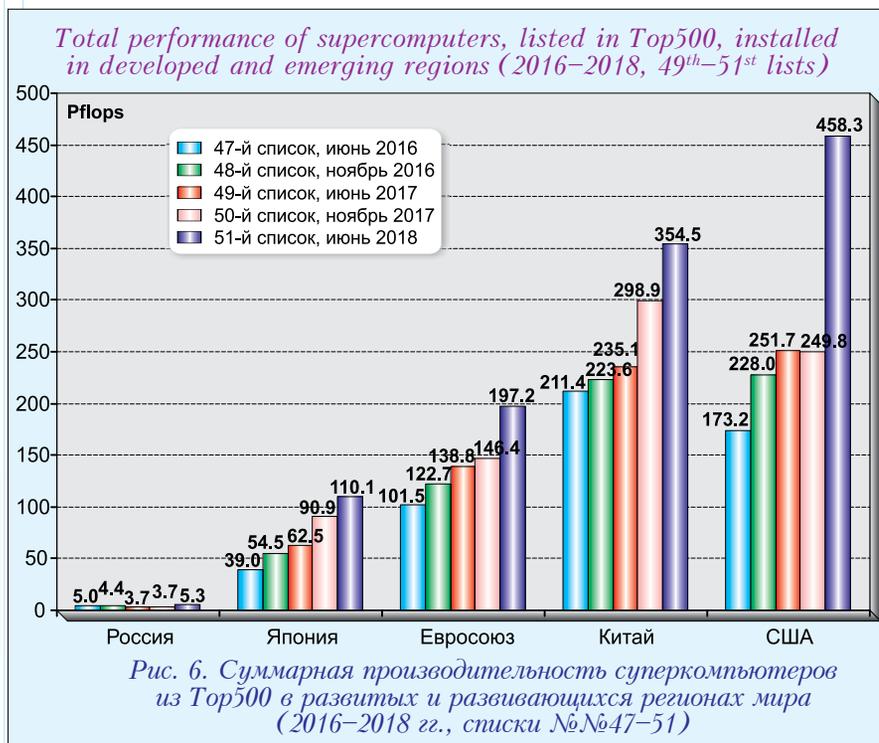
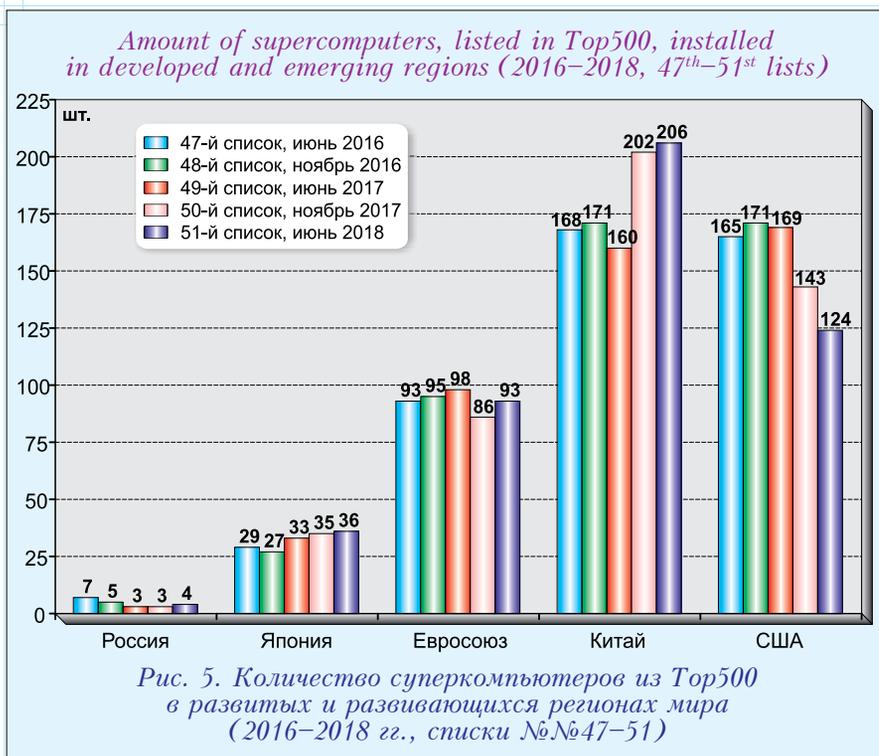
Следует подчеркнуть, что во всех пользовательских сегментах мы видим значительный прирост производительности даже за полгода: в списке №50 показатели суммарной производительности были намного скромнее – 424.5, 243.7 и 129.2 Pflops.

Сфера исследований по суммарной производительности применяемых суперкомпьютеров в июне 2018 года обогнала и промышленность, и образование – в 2.2 и 5.4 раза соответственно. Эта тенденция сохраняется на длительном временном отрезке: средние значения опережения, взятые за период с ноября 2005 года по июнь 2018 года, составляют соответственно 2.0 и 2.9 раза.

Опережающими темпами растет вычислительная мощь 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 ВПП, 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).



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

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

4 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 №№47÷51 рейтинга Top500) наглядно отображены на диаграммах (рис. 5÷10). На рис. 7, 8, построенных для последних пяти лет (списки №№42÷51), можно проследить тенденции в развитии регионов, построивших супервычислители петафлопсного класса и имеющих амбиции пересечь эксафлопсный рубеж.

4.1. США

По состоянию на июнь 2018 года (51-й список), в США инсталлировано 124 суперкомпьютера (24.8% от общего числа систем уровня Top500), что на 19 меньше, чем полгода назад: в ноябре 2017 года (50-й список) в США насчитывалось 143 системы (28.6%). Год назад, в июне 2017 года (49-й список) в США насчитывалось 169 систем (33.8%). Показатели США в 50-м и 51-м списке оказались ниже, чем у Китая, тогда как в 49-м списке – наоборот, выше. Таким образом, Поднебесная вышла на первое место по числу систем, включенных в Top500.

В июне 2018 года суммарная производительность систем, инсталлированных в США, достигла 458.3 Pflops; за год этот показатель вырос с 251.7 Pflops на +82.1%. При этом их доля в общей производительности Top500 за год выросла с 33.6% до 38.4%. В июне 2017 года США были лидером Top500 и превосходили Китай по этому показателю. Через полгода, в ноябре 2017 года, США с показателем 249.8 Pflops (29.6%) временно уступили лидерство, а в июне 2018 годов вновь вышли на 1-е место в мире по суммарной производительности.

По суммарной производительности инсталлированных систем США вновь опередили Китай и вышли на 1-е место в мире. За год этот показатель у американских систем вырос на +82.1% – с 251.7 до 458.3 Pflops.

4.2. Китай

За прошедший год доля Китая в Top500 значительно увеличилась – до 41.2% (206 систем в 51-м списке); в 49-м списке китайских систем было “всего” 160 (32%). Таким образом, эта страна снова стала лидером, опередив Соединенные Штаты по числу систем, включенных в Top500.

Лидером регионального рейтинга по количеству инсталлированных систем вновь стал Китай, отодвинувший США на 2-е место. В июне 2018 г. количество китайских систем достигло 206, а их доля в Top500 – 41.2%.

Regional shares of amount of supercomputers for 2013–2018 (Top500, 42nd–51st lists)

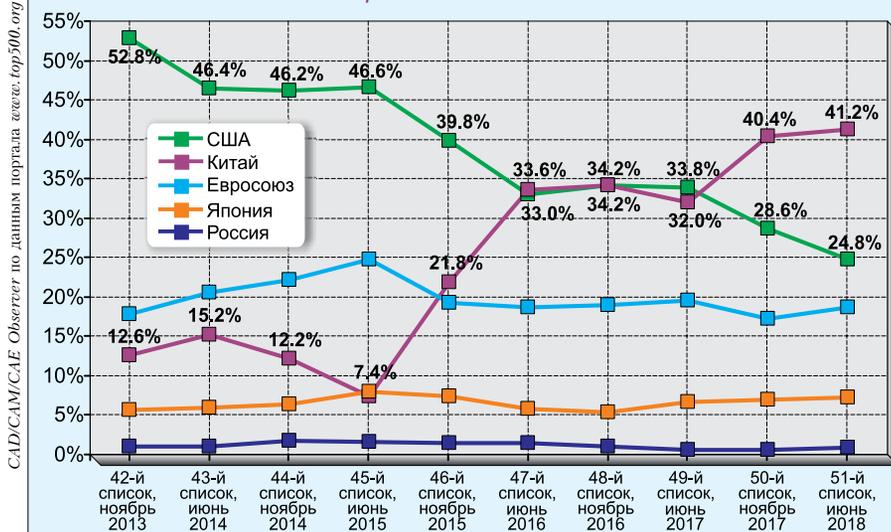


Рис. 7. Изменение региональных долей от общего количества суперкомпьютеров из Top500 в период 2013–2018 гг. (списки №№42–51)

Regional shares of total performance of supercomputers for 2013–2018 (Top500, 42nd–51st lists)

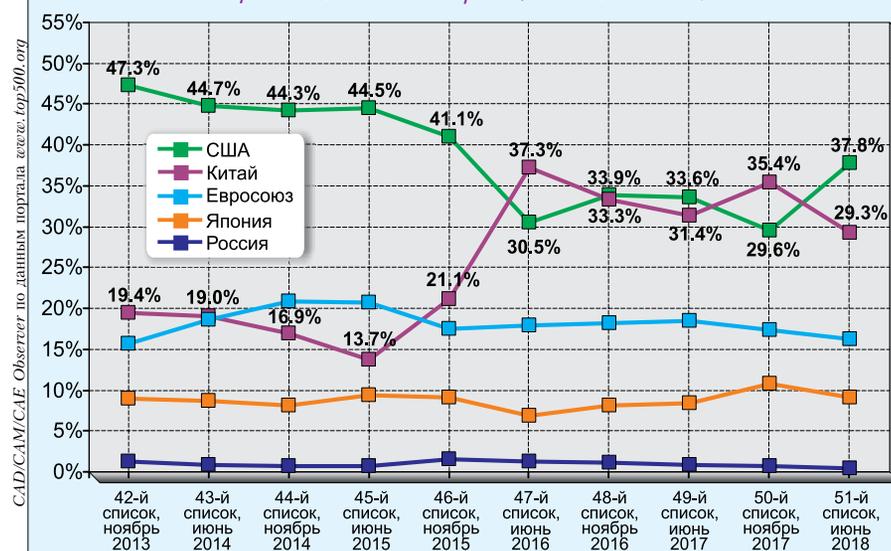


Рис. 8. Изменение региональных долей от суммарной производительности суперкомпьютеров из Top500 в период 2013–2018 гг. (списки №№42–51)

Однако по суммарной производительности топовых суперкомпьютеров в 51-м списке (354.5 Pflops или 29.3%) Китай уступил 1-е место США. Хотя за год этот важный показатель вырос на +50.8% (в 49-м списке – 235.1 Pflops или 31.4%), этого не хватило, чтобы конкурировать с американцами, построившими нового лидера рейтинга – систему *Summit*.

4.3. Евросоюз

Число систем из стран ЕС в списке №51 составило 93, то есть 18.6% от общего числа суперкомпьютеров уровня *Top500*. За год оно немного уменьшилось: в июне 2017 года таких систем было 98 (19.6%).

Суммарная производительность этих 93-х систем составляет 197.2 Pflops (16.3% от общего значения для *Top500*). За год этот показатель увеличился на +42.1% – с 138.8 Pflops (18.5% 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:

- 1 Германия – 44.7 Pflops, 21 система;
- 2 Великобритания – 42.8 Pflops, 22 системы;
- 3 Франция – 42.3 Pflops, 18 систем.

На долю этих трех стран сегодня приходится 65.6% суперкомпьютеров из *Top500* на территории ЕС и 65.9% их суммарной производительности.

Год назад, в июне 2017-го, показатели лидеров суперкомпьютерной отрасли ЕС были следующими:

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

На тот момент на их долю приходилось 63.3% суперкомпьютеров из *Top500* на территории ЕС и 67.4% суммарной производительности.

Отметим, что в 51-й список *Top500* попали супервычислители из 11-ти государств Евросоюза (всего в ЕС входят 28 стран); год назад такого успеха добились 14 стран. Очевидно, что выход Великобритании из ЕС окажет значительное влияние на расстановку суперкомпьютерных сил.

4.4. Япония

За год число инсталлированных в Стране Восходящего Солнца систем увеличилось на 3: с 33-х (6.6% от общего значения для *Top500*) в 49-м списке до 36-ти (7.2%) в 51-м списке. Их суммарная производительность достигла 110.1 Pflops (9.1% от общей), увеличившись на +76.2% по сравнению с 49-м списком (62.9 Pflops или 8.4% от общей).

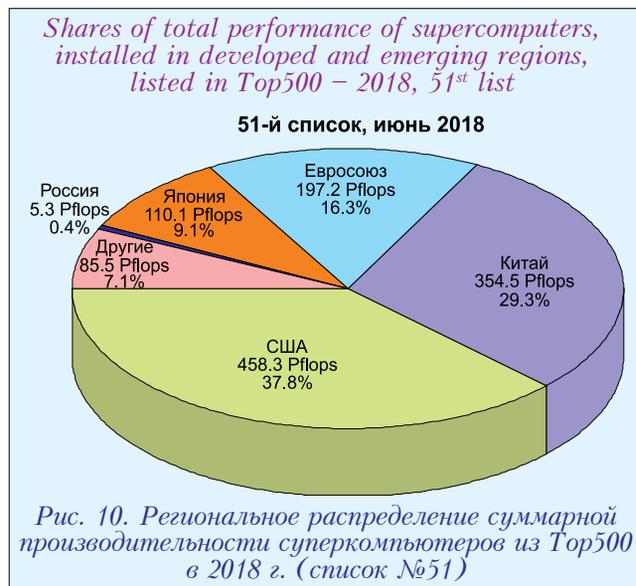
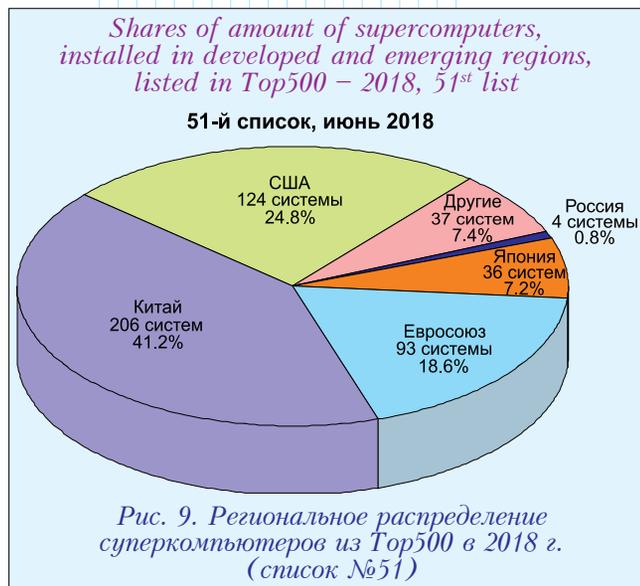
В последних одиннадцати списках (с 41-го по 51-й) Япония неизменно занимает 4-е место по величине суммарной производительности. Напомним, что на 2-й позиции эта страна находилась в июне и ноябре 2011 года с показателями 11.2 Pflops (19% от общей) и 14.2 Pflops (19.2%), что было достигнуто благодаря рекордсмену списков №37 и №38 – *K computer*; в списке №51 бывший лидер впервые оказался за пределами “горячей десятки”.

4.5. Россия

Российская Федерация в 51-м списке *Top500* представлена четырьмя системами (0.8% от общего числа в *Top500*) с суммарной производительностью 5.336 Pflops (0.44% от общего значения в *Top500*). Год назад в списке №49 были представлены три системы (0.6%) с суммарной производительностью 3.662 Pflops (0.49%).

Из четырех российских суперкомпьютеров два являются петафлопсниками по реальной производительности:

- На 72-м месте находится суперкомпьютер **T-Platform A-Class Cluster** под названием



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

“Ломоносов 2”, инсталлированный в Суперкомпьютерном центре МГУ им. М.В. Ломоносова. Его реальная производительность составляет **2.478 Pflops**, пиковая – 4.947 Pflops, вычислительная эффективность – 50%. По показателю реальной производительности эта система, построенная российской компанией “Т-Платформы”, отстает от Summit в 49.4 раза.

- На 172-м месте находится суперкомпьютер **Cray XC40**, инсталлированный в Вычислительном центре Росгидмета (реальная производительность – **1.2 Pflops**, пиковая – 1.293 Pflops, вычислительная эффективность – 92.8%). Эта система построена американской компанией Cray в сотрудничестве с российской компанией “Т-Платформы”. Отставание от Summit по реальной производительности составляет 59.7 раза.

5 Ведущие производители суперкомпьютеров

Показатели ведущих производителей суперкомпьютеров из Top500 представлены на рис. 11, 12. 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.

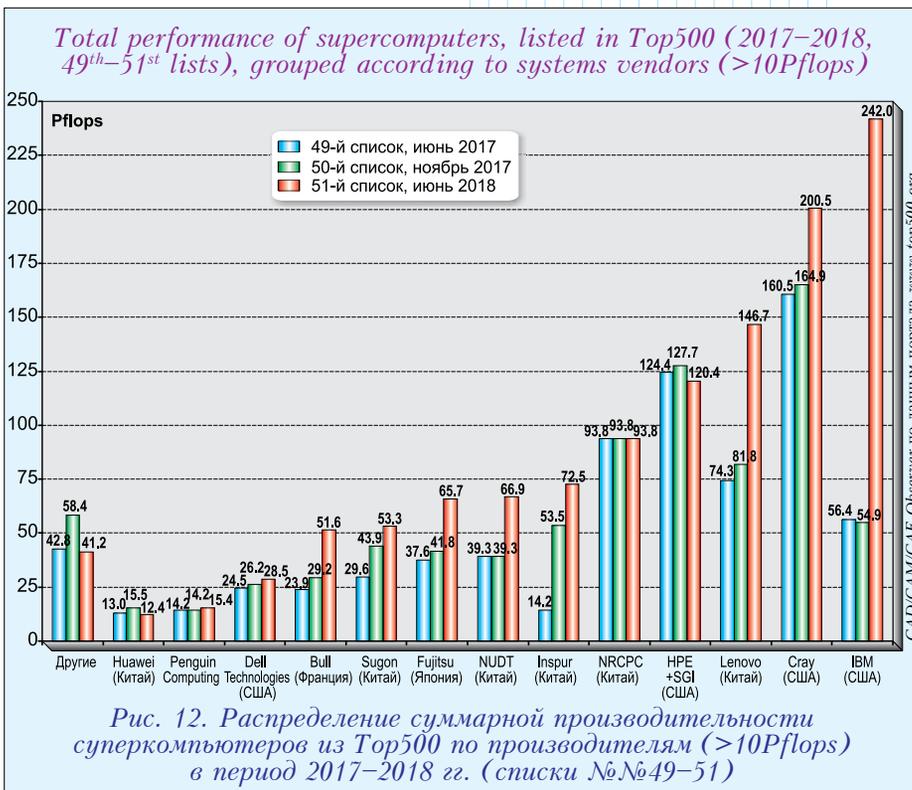
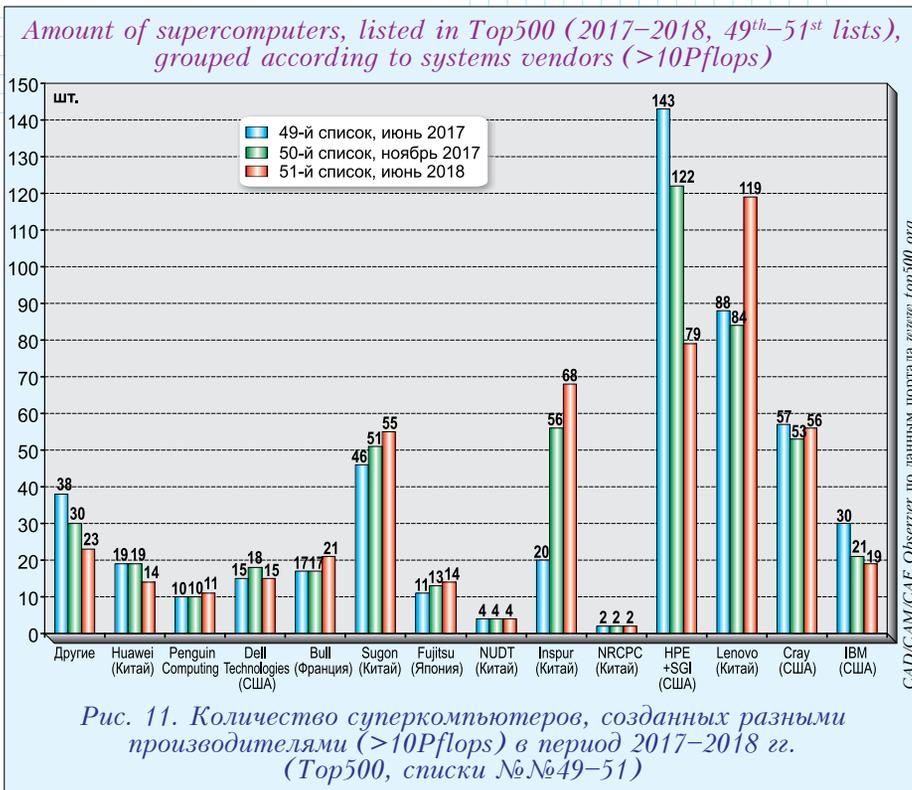
Рассматриваемые компании (организации) условно можно разделить на следующие три группы (каждая компания упоминается только один раз):

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 приобретенной SGI), Lenovo, Bull, Dell Technologies;

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



В лидеры по количеству установленных суперкомпьютеров в 51-м списке вышла китайская компания *Lenovo*. Её показатели в трех последних списках (июнь и ноябрь 2017 г., июнь 2018 г.) таковы: 88, 84 и 119 систем соответственно (рис. 11).

Американская компания *Hewlett-Packard Enterprise (HPE)* оттеснена на 2-е место. До этого, в списках с 41-го по 50-й, *HPE* была бессменным лидером по количеству установленных суперкомпьютеров. В трех последних списках (июнь и ноябрь 2017 г., июнь 2018 г.) показатели *HPE* таковы: 143, 122 и 79 систем соответственно.

На 3-е место в двух последних списках поднялась китайская компания *Inspur*, построившая 20, 56 и 68 систем уровня *Top500* – в июне и ноябре 2017 года и в июне 2018 года соответственно.

На 4-е место в двух последних списках съехала компания *Cray*, инсталлировавшая 57, 53 и 56 систем – в июне и ноябре 2017 года и в июне 2018 года соответственно.

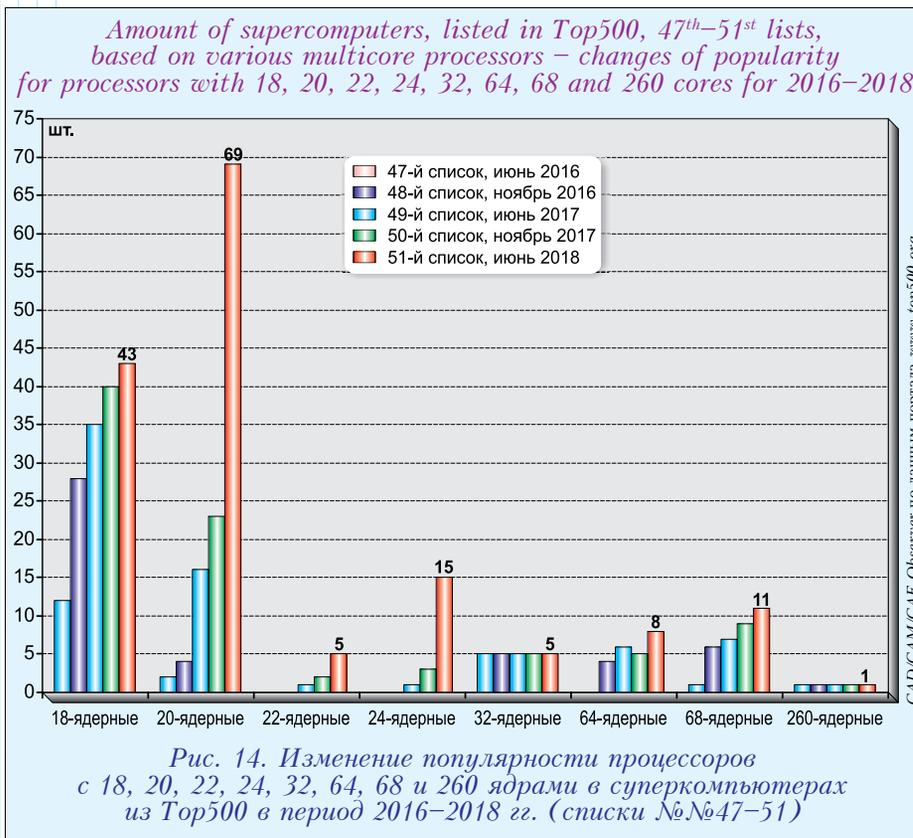
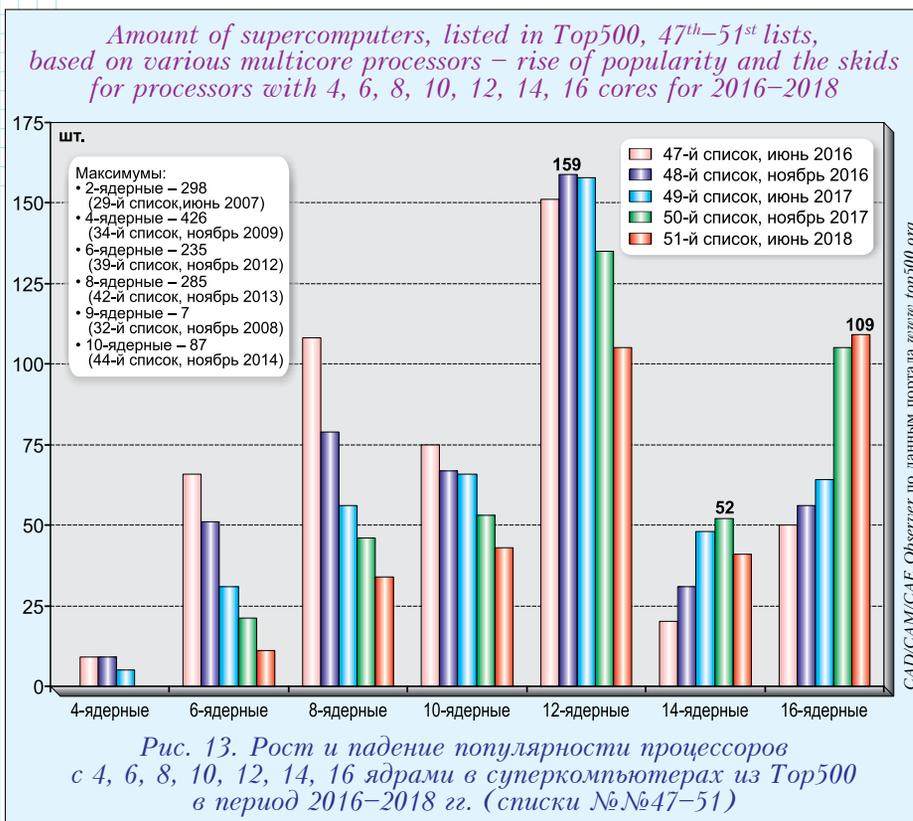
На 5-е место в двух последних списках оттеснена китайская компания *Sugon*, в активе которой 46, 51 и 55 систем – в июне и ноябре 2017 года и в июне 2018 года соответственно.

Всего лишь на 7-м месте оказалась в 51-м списке именитая корпорация *IBM* (напомним, что часть её серверного бизнеса была продана компании *Lenovo*), построившая 30, 21 и 19 систем из пятисот в трех последних списках соответственно. Однако теперь в активе *IBM* значит-ся новый лидер *Top500*.

Лидером по числу построенных суперкомпьютеров уровня *Top500* стала китайская компания *Lenovo* – на её счету 119 систем.

В аспекте суммарной производительности

установленных систем ситуация выглядит несколько иначе. Лидером *Top500* по этому показателю в 51-м списке стала компания



IBM (рис. 12), построившая систему *Summit*, которая теперь возглавляет мировой рейтинг. До этого, в списках №49 и №50, IBM занимала

только 5-е место. В июне и ноябре 2017 года и в июне 2018-го этот важнейший показатель супервычислителей IBM имел значения 56.4, 54.9 и 242.0 Pflaps соответственно.

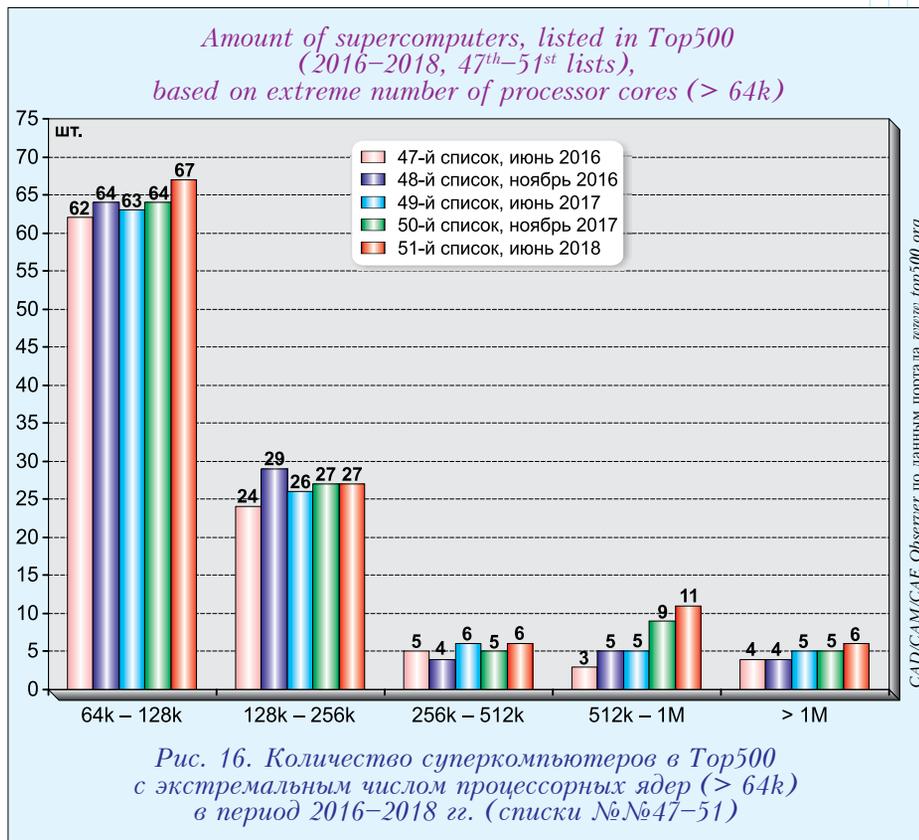
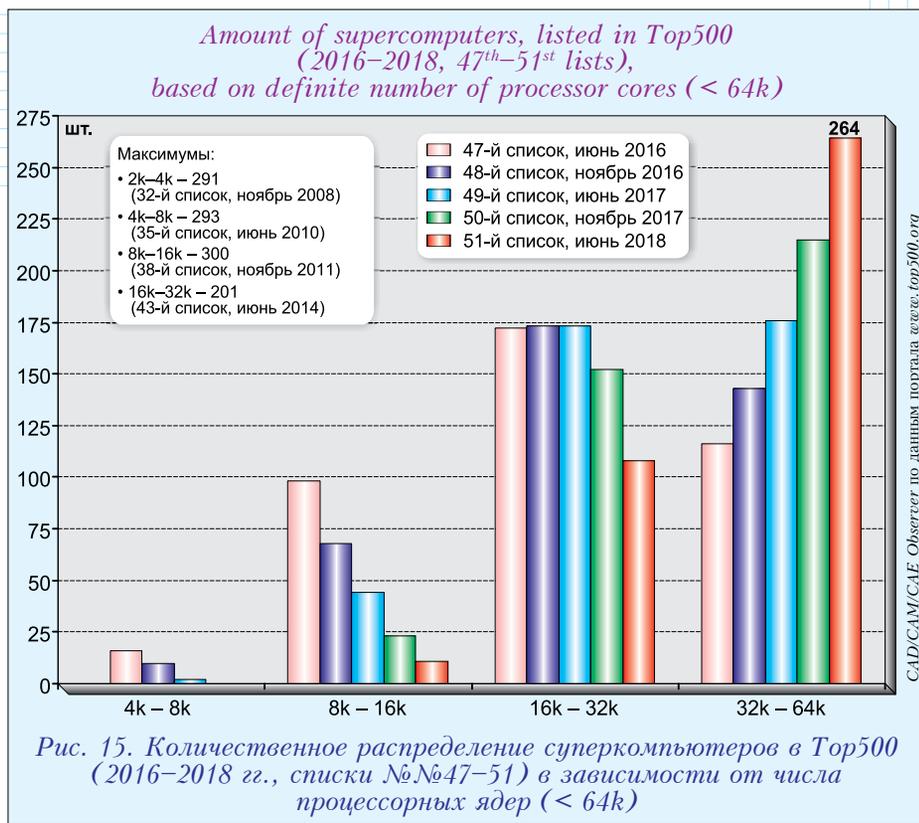
На вторую позицию в 51-м списке отеснена американская компания *Cray*, которая лидировала по этому показателю в списках с 45-го по 50-й. В июне и ноябре 2017 года и в июне 2018-го он имел следующие значения: 160.5, 164.9 и 200.5 Pflaps соответственно.

Таким образом, IBM и Cray стали первыми компаниями, чьи суперкомпьютеры из Top500 преодолели порог в 200 петафлопс суммарной производительности. На третью позицию в 51-м списке поднялась компания *Lenovo*, занимавшая четвертую позицию в 49-м и 50-м списках. В июне и ноябре 2017 года и в июне 2018-го её показатели были следующими: 74.5, 81.8 и 146.7 Pflaps. Как мы видим, сейчас *Lenovo* стала уже четвертой компанией, чьи суперкомпьютеры преодолели порог в 100 петафлопс (суммарно). Ранее этого добились *Cray* (46-й список) и *HPE* (48-й список), ну а IBM сразу сделала большой скачок через уровень.

На четвертую позицию в 51-м списке съехала американская компания *HPE*, занимавшая вторую позицию в 49-м и 50-м списках. В июне и ноябре 2017 года и в июне 2018-го её показатели были такими: 124.4, 127.7 и 120.4 Pflaps соответственно.

На пятом месте по суммарной производительности теперь находится китайский исследовательский центр *NRCPC*. За два года его показатель не изменился – 93.0 Pflaps.

Лидером по суммарной производительности систем в Top500 стала американская компания IBM с показателем 241.964 Pflaps.



6 Число процессорных ядер в суперкомпьютерах

Статистика по использованию многоядерных процессоров для построения суперкомпьютеров, входящих в *Top500*, отражена на рис. 13, 14.

В 51-м списке наиболее популярными стали 16-ядерные процессоры – на их базе построено 109 систем.

Пик популярности 14-ядерных процессоров приходился на 50-й список – 52 системы, а 12-ядерных – на 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), 4-ядерные – в 34-м списке (426 систем).

Наибольшей популярностью при строительстве суперкомпьютеров, включенных в 51-й список *Top500*, пользовались 16-ядерные процессоры – на их базе создано 109 систем.

Что же касается 18- и 20-ядерных процессоров, то пик их использования пока приходится на свежий, 51-й список: 43 и 69 систем соответственно. Число суперкомпьютеров на базе 22-ядерных процессоров в списке №51 выросло до 5, а 24-ядерных – до 15. Число систем на базе 32-ядерных процессоров пока остановилось на цифре 5. Востребованными являются 64- и 68-ядерные процессоры: на их основе построено 8 и 11 систем соответственно.

Кроме того, в последних пяти списках (с 47-го по 51-й) имеется одна система, в которой нашли применение 260-ядерные процессоры.

Наиболее распространенное суммарное число ядер в одной системе сейчас лежит в пределах от 32k до 64k, где $k = 1024$. В текущем 51-м списке таких систем оказалось 264. Пик популярности систем с суммарным числом ядер от 16k до 32k пришелся на 43-й список – 201 система (рис. 15).

Суперкомпьютеры с рекордными характеристиками содержат значительно больше ядер – их число превышает 256k (рис. 16).

Количество таких вычислителей в 51-м списке достигло 23.

Рекордсменом в этой номинации остается *Sunway TaihuLight*, лидировавший в 47–50 списках *Top500*: общее число его ядер равно 10 649 600 или 10.17M ($M = 1024 \times 1024$).

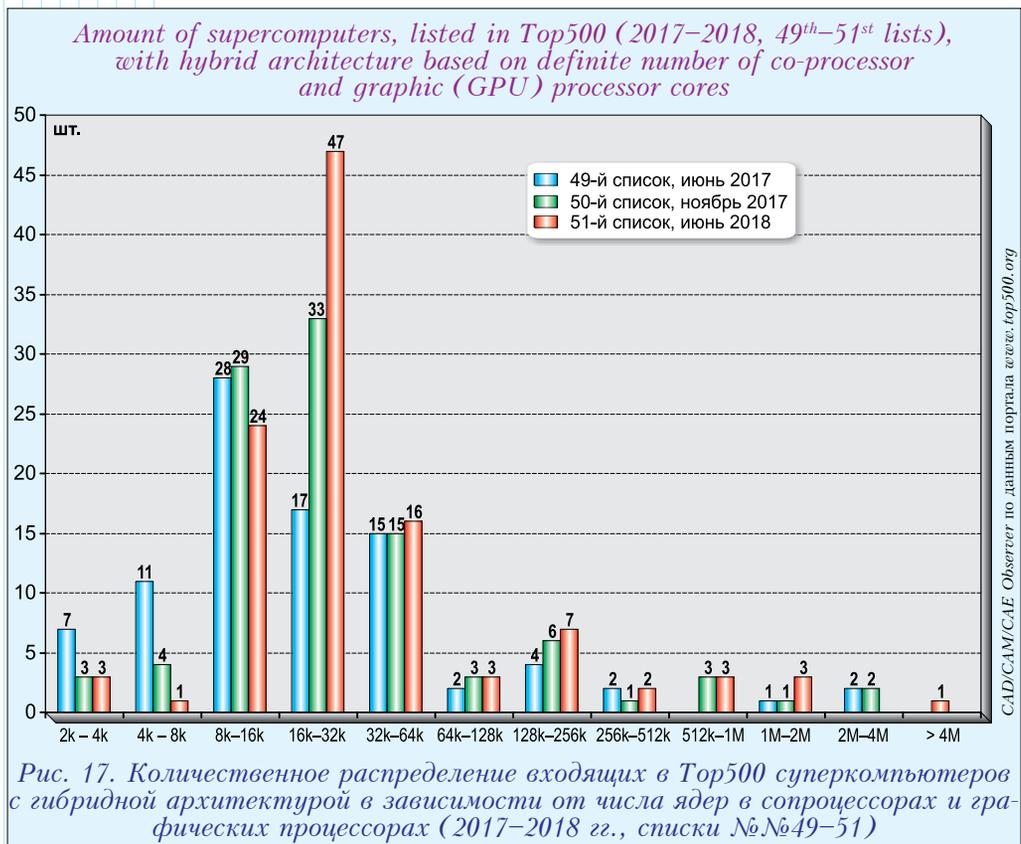
Далее следуют супервычислители с числом ядер $M+$:

- *Tianhe-2A* – 4 981 760 ядер (4.75M); до модернизации он назывался просто *Tianhe-2* и возглавлял списки №№41–46 с показателем 3 120 000 ядер (2.98M);
- *Summit*, лидер 51-го списка – 2 282 544 ядра (2.18M);
- *Sequoia*, лидер 39-го списка – 1 572 864 ядра (1.5M);
- *Sierra* – 1 572 480 ядра (1.5M);
- *Shoubu* с 1 313 280 ядрами (1.25M), занявший в 51-м списке 271-е место (разработчики – японские компании *PEZY Computing* и *Exascalor*).

Отметим, что четыре из шести названных систем являются гибридными.

7 Суперкомпьютеры с гибридной архитектурой

В текущем, 51-м списке *Top500* насчитывается 110 систем с гибридной архитектурой, а их доля составляет 22%. Это на 11 систем больше, чем было год назад в 49-м списке (89 систем или 17.8%), и на 10 больше, чем полгода назад в 50-м списке (100 систем или 20%).



Число суперкомпьютеров с гибридной архитектурой составляет 110 – это 22% от всех включенных в *Top500* систем.

Диаграмма на **рис. 17** позволяет сопоставить число гибридных супервычислителей, обладающих различным суммарным количеством ядер графических процессоров или сопроцессоров, используемых для ускорения вычислений.

Сейчас в первой десятке *Top500* представлены шесть гибридных систем: *Summit* (1-е место), *Sierra* (3-е место), *Tianhe-2A* (4-е место), *AI Bridging Cloud Infrastructure* (5-е место), *Piz Daint* (6-е место) и *Titan* (7-е место).

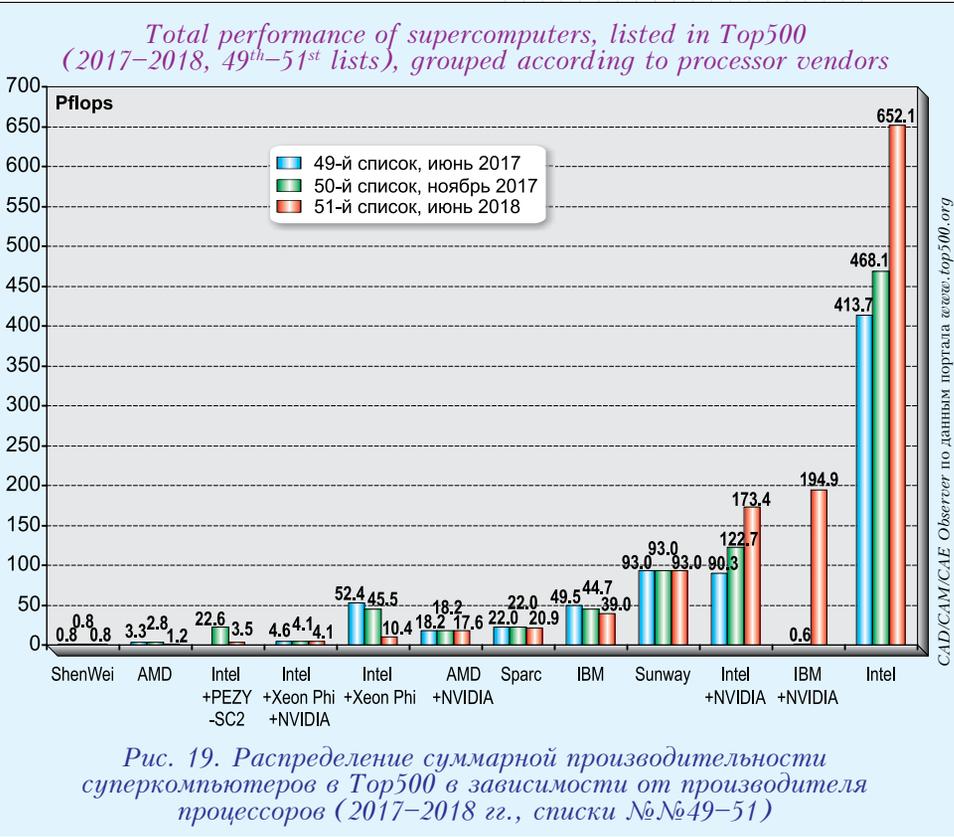
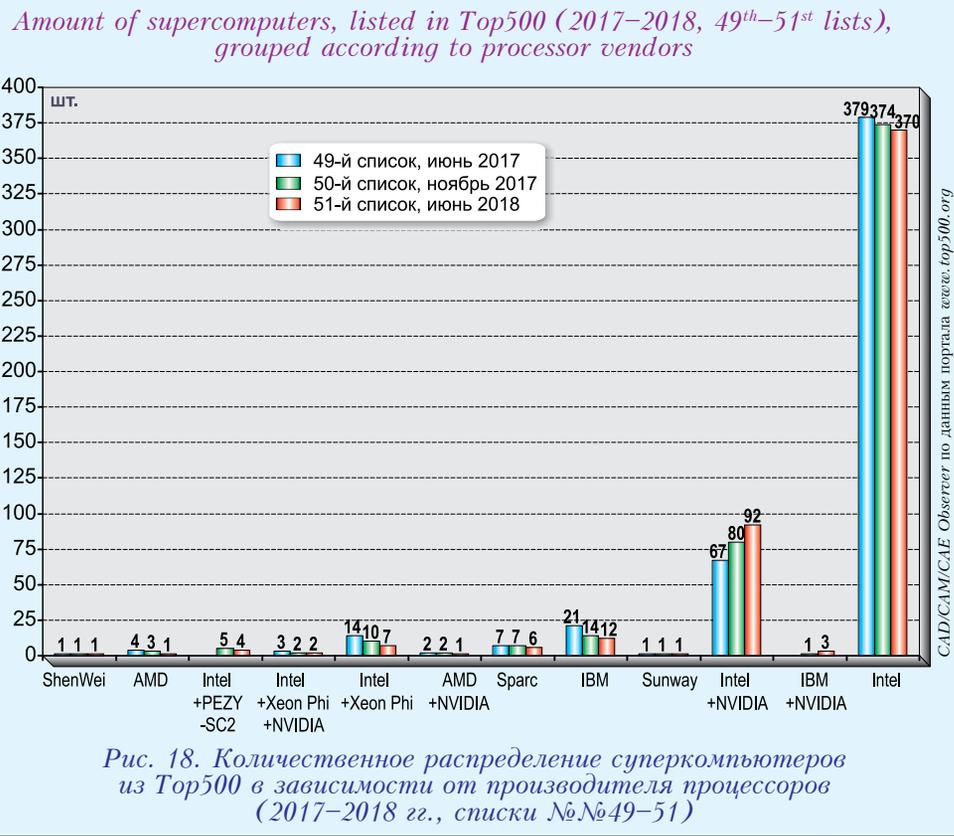
В июне 2018 года наиболее популярной в гибридных системах является комбинация “*Intel + NVIDIA*”. Всего в *Top500* таких систем насчитывается 92 (**рис. 18**); полгода и год назад их было 80 и 67 соответственно.

На втором месте находится сочетание “*Intel + Xeon Phi*” (7 суперкомпьютеров); полгода и год назад их было 10 и 14 соответственно.

По суммарной производительности среди гибридных суперкомпьютеров на лидирующих позициях находится комбинация “*IBM + NVIDIA*” – 194.9 *Pflops* (**рис. 19**). Полгода назад был представлен прототип с быстродействием 0.6154 *Pflops*.

На втором месте находится сочетание “*Intel + NVIDIA*” – 173.4 *Pflops*. Для этой категории гибридных систем увеличение за полгода и год составило +50.7 и +32.5 *Pflops* соответственно.

На третьем месте остается малораспространенная (всего одна система) комбинация “*AMD + NVIDIA*”,



Наибольшую суммарную производительность показали те гибридные суперкомпьютеры, в которых применяется сочетание “*IBM + NVIDIA*”: этот показатель составил 194.9 *Pflops* (число систем – 3, включая нового рекордсмена – систему *Summit*).

8 Ведущие производители процессоров для суперкомпьютеров

Поставщиком процессоров для подавляющего большинства суперкомпьютеров, входящих в *Top500*, является компания *Intel* (рис. 18). В июне и ноябре 2017 года и июне 2018-го количество систем на базе интеловских процессоров составляло 464, 471 и 475 соответственно (в том числе, гибридных систем – 84, 97, 105).

Остальные компании в 51-м списке отранжированы следующим образом:

- 2-е место занимает компания *IBM* – 15 систем, в том числе, 3 гибридных;
- 3-е место за компанией *Fujitsu* – 6 систем, гибридные отсутствуют;
- 4-е место у *AMD* – 2 системы, в том числе 1 гибридная;
- 5-е место занимает китайский производитель *NRCPC* – 1 негибридная система.

Сравнение по показателю суммарной производительности систем, построенных на процессорах соответствующих вендоров, для последних трех списков также оказывается в пользу *Intel*: 561.5, 663.0 и 843.5 *Pflops* соответственно (рис. 19), включая весомый вклад гибридных систем (147.3, 194.9 и 191.4 *Pflops*).

Остальные компании в 51-м списке отранжированы следующим образом:

- на 2-е место вышла компания *IBM* с показателем 223.9 *Pflops* (вклад гибридных систем – 194.9 *Pflops*);
- 3-е место занимает китайский производитель *NRCPC*, который продемонстрировал в июне 2016 года единственную систему с показателем 93 *Pflops*;
- 4-е место достается японской компании *Fujitsu* с показателем 20.9 *Pflops*;
- 5-е место занимает американская компания *AMD* с показателем 18.2 *Pflops* (вклад гибридной системы составляет 17.59 *Pflops*).

Компания *Intel* является лидером и по количеству, и по суммарной производительности суперкомпьютеров, построенных на базе её процессоров и сопроцессоров: 475 систем и 843.5 *Pflops*.

Интеловские процессоры распределяются по следующим семействам: *Broadwell*, *Nehalem*, *Westmere*, *Haswell*, *IvyBridge*, *SandyBridge*, а также *Gold* и *Platinum*.

Все процессоры “Голубого гиганта” принадлежат к семейству *POWER*, процессоры

NRCPC – к семейству *Sunway*, процессоры *Fujitsu* имеют архитектуру *SPARC*, а процессоры *AMD* принадлежат к семейству *Opteron*. 

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 2017–2018 годах: обзор достижений и анализ рынков. Часть I. Серверы, облачная ИТ-инфраструктура, квантовые вычисления // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2018, №3, с. 6–14.
2. Павлов С. Системы высокопроизводительных вычислений в 2017–2018 годах: обзор достижений и анализ рынков. Часть II. *HPC*-системы // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2018, №4, с. 80–87.
3. Павлов С. Системы высокопроизводительных вычислений в 2016–2017 годах: обзор достижений и анализ рынков. Часть II. Суперкомпьютеры // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2017, №5, с. 71–86.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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.