

# Системы высокопроизводительных вычислений в 2018–2019 годах: обзор достижений и анализ рынков

## Часть III. Суперкомпьютеры

Сергей Павлов, Dr. Phys.

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

В третьей части обсуждаются данные, фиксируемые в мировом суперкомпьютерном рейтинге **Top500** ([www.top500.org](http://www.top500.org)), который впервые был составлен 26 лет назад. Актуальные списки публикуются два раза в год – в июне и ноябре; новейший, 53-й список был представлен 17 июня 2019 года на ежегодной конференции *ISC High Performance* во Франкфурте (Германия).

При изложении результатов развития мировой суперкомпьютерной отрасли практически полностью сохранена структура части III прошлогоднего обзора [3]. Все ранее подготовленные публикации на эту тему [3–10] (а мы анализируем аккумулируемые в этом рейтинге данные с 2005 года), по-прежнему свободно доступны на нашем сайте [www.cad-cam-cae.ru](http://www.cad-cam-cae.ru).

Напомним, что, начиная с прошлогоднего обзора, анализ суверенного российского рейтинга **Топ50** ([top50.supercomputers.ru](http://top50.supercomputers.ru)) перенесен в специальную “российскую” часть [11], которая посвящена рассмотрению информации именно о российских сегментах интересующих нас компьютерных рынков.

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

- 1 Экзафлопс как предчувствие
  - Обновленный прогноз *Hyperion Research*
  - США пытаются притормозить Китай
- 2 Интегральные показатели рейтинга *Top500*
- 3 Лидеры рейтинга *Top500*:
  - “Горячая десятка”
  - Былые рекордсмены еще в строю
  - Лучшие производители лучших систем
- 4 Области применения систем ВПВ
- 5 Региональный срез рейтинга *Top500*
  - США
  - Китай
  - Евросоюз
  - Япония
  - Россия
- 6 Ведущие производители суперкомпьютеров
- 7 Число процессорных ядер в суперкомпьютерах

- 8 Суперкомпьютеры с гибридной архитектурой
- 9 Ведущие производители процессоров для суперкомпьютеров.

### 1. Экзафлопс как предчувствие

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

Во второй части нашего обзора [2] мы рассказали о начале строительства экзафлопсных суперкомпьютеров в Японии и США, которые должны вступить в строй в 2021 году, а также о прогнозе аналитической компании *Hyperion Research* для рынка *HPC*-систем до 2023 года, который был обнародован на мероприятии *The 72<sup>nd</sup> HPC User Forum*, проходившем с 1 по 3 апреля 2019 года в гор. Санта-Фе (шт. Нью-Мексико, США).

#### 1.1. Обновленный прогноз *Hyperion Research*

Аналитики *Hyperion Research* не сидели без дела и за два с половиной месяца, которые прошли с вышеупомянутого форума *HPC User Forum* до конференции *ISC High Performance*, успели повысить свой прогноз, касающийся объема расширенного рынка *HPC* в 2023 году, с 39 до 44 млрд. долларов.

По их мнению, мировые расходы на супервычислители экзафлопсного класса в период с 2019 по 2025 годы составят 9 млрд. долларов, включая миллиардные инвестиции в японский суперкомпьютер *Post-K (Fugaku)*.

В 2023 году расходы на суперкомпьютеры с экзафлопсной производительностью достигнут 1.4 млрд. долларов, на *HPC*-серверы для решения задач с применением технологий искусственного интеллекта (ИИ) – 2.7 млрд. долларов, а на оборудование, поддерживающее функционирование облачных сервисов, – 5.5 млрд. долларов. Самый быстроразвивающийся сегмент – серверы для задач ИИ; здесь рост объемов составит примерно +30% в год.

На основе доступной к настоящему времени информации аналитики *Hyperion Research* составили приблизительный график ввода в действие экзафлопсных мощностей в мире. По их оценкам, в ближайшие 18 месяцев можно ожидать появление китайского экзафлопсника, который несколько опередит американскую систему *Aurora*, которую

компания *Cray* (точнее, компания *Hewlett-Packard Enterprise*, поглотившая *Cray*) инсталлирует в Аргоннской национальной лаборатории (*Argonne National Laboratory*).

## 1.2. США пытаются притормозить Китай

Чтобы подкрепить свое нынешнее лидерство в суперкомпьютерной гонке, американцы решили воспользоваться административными рычагами Министерства торговли США и ограничить поставки продукции американских компаний для ряда китайских организаций. В так называемый *Entity List* от 24 июня 2019 года были включены:

- *Chengdu Haiguang Integrated Circuit*;
- *Chengdu Haiguang Microelectronics Technology*;
- *National University of Defense Technology (NUDT)*;
- *Sugon (Dawning)*;
- *Wuxi Jiangnan Institute of Computing Technology*.

Теперь мы будем с интересом наблюдать, насколько эти методы окажутся эффективными для сдерживания китайской суперкомпьютерной отрасли, которая к настоящему времени в значительной степени опирается на собственные разработки.

## 2. Интегральные показатели рейтинга Top500

Суммарная производительность систем, включенных в 53-й список *Top500*, увеличилась в сравнении с показателями, опубликованными полгода назад в 52-м списке, на +10.2%: с 1415.0 до 1559.9 петафлопсов (или до 1.5599 *Eflops* – здесь пора уже переходить на “экзаметр”).

При сравнении с 51-м списком (1210.9 *Pflops*) получается, что за год прирост составил +28.8%. Однако мы видим, что годовые темпы роста производительности уменьшились: если взять данные 51-го и 49-го списков (1210.9 и 748.7 *Pflops*), то легко подсчитать, что тогда прирост был +61.7%. Два года назад годовой прирост составил +32%, как показывает сравнение данных 49-го и 47-го списков (748.7 и 567.4 *Pflops*). До этого производительность за год увеличилась более чем наполовину (+56.5%), согласно данным 47-го и 45-го списков (567.35 и 362.65 *Pflops*). Четыре года назад этот показатель составлял +32.5% (45-й список – 362.65 *Pflops*, 43-й список – 273.76 *Pflops*).

Суммарная производительность суперкомпьютеров, включенных в *Top500*, за год выросла на +28.8% и достигла 1.5599 *Eflops*.

Проходной балл в 53-й список по реальному (по *LINPACK*) быстродействию превысил петафлопсовый уровень – 1.022 *Pflops*; таким образом, все пять сотен лучших суперкомпьютеров, построенных в 28 странах, теперь являются петафлопсниками. Напомним, что год назад, в 51-м списке, таковыми были 273 системы из 25 стран.

Все 500 суперкомпьютеров из *Top500* сегодня демонстрируют реальное быстродействие, превышающее 1 петафлопс. Количество стран, обладающих такими системами, тоже увеличилось – с 25 до 28.

Полгода назад, в 52-м списке, практически все суперкомпьютеры (499 систем) показывали пиковое быстродействие более 1 *Pflops*.

## 3. Лидеры рейтинга Top500

### 3.1. “Горячая десятка”

Лидером рейтинга по показателю реального быстродействия с июня 2018 года (51-й список) является американская система **Summit**. Полгода назад, в ноябре 2018-го (52-й список), усилия компании *IBM* увенчались еще одним успехом: после дополнительной модернизации и настройки система *Summit* первой в мире **преодолела рубеж в 200 петафлопсов пиковой производительности** – мировой рекорд теперь составляет **200.795 *Pflops***. При этом выросла и реальная производительность – мировой рекорд теперь составляет 148.6 *Pflops* (табл. 1).

Отметим, что отрыв системы *Summit* от предыдущего чемпиона – китайской системы *Sunway TaihuLight*, возглавлявшей рейтинг *Top500* в списках с 47-го по 50-й, – составляет:

- 59.8% по реальной производительности (год назад – 31.5%);
- 60.1% по пиковой производительности (год назад – 49.6%).

За прошедший год в “горячей десятке” *Top500* появились три новых имени (выделены в таблице более темной закрашкой):

- на 5-м месте – *Frontera* (впервые – в новейшем, 53-м списке);
- на 9-м месте – *SuperMUC-NG* (впервые – в 52-м списке на 8-м месте);
- на 10-м месте – *Lassen* (впервые – в 52-м списке на 11-м месте).

Четыре системы подверглись настройке или модернизации, нарастив в результате мускулы (в таблице они выделены более светлой закрашкой):

- *Summit*, лидер рейтинга;
- *Sierra* (2-е место);
- *Piz Daint* (6-е место);
- *Trinity* (7-е место).

Остаток – три знакомых имени: *Sunway TaihuLight*, *Tianhe-2A* и *AI Bridging Cloud Infrastructure*.

Предлагаем читателям обращать внимание на позиции суперкомпьютеров не только в *Top500*, но и в рейтинге энергоэффективности *Green500*, а также в рейтинге **HPCCG**, который стал составной частью *Top500* в 49-м списке. *High-Performance Conjugate Gradient Benchmark* – это новый метод сравнительного тестирования *HPC*-систем в задачах с применением технологий ИИ.

Таблица 1. Первая десятка международного суперкомпьютерного рейтинга Top500 в июне 2019 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, Gflops/W | Место в рейтинге HPCG* | Производительность, Tflops |
|-------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|---|------------------------|---|---------------------------|-------------------------------|------------------------|----------------------------|
| 1                       | 148.6                               | 2 414 592                     | <b>Summit</b><br>(IBM Power System AC922)<br>IBM POWER9 (22 ядра, 3.1 GHz)<br>NVIDIA Volta GV100                            | IBM (США)              | Окридская национальная лаборатория (шт. Теннеси, США)                               | 2                         | 14.719                        | 1                      | 2925.75                    |
| 2                       | 94.64                               | 1 572 480                     | <b>Sierra</b><br>(IBM Power System AC922)<br>IBM POWER9 (22 ядра, 3.1 GHz)<br>NVIDIA Volta GV100                            | IBM (США)              | Ливерморская национальная лаборатория им. Э. Лоуренса (шт. Калифорния, США)         | 5                         | 12.723                        | 2                      | 1795.67                    |
| 3                       | 93.015                              | 10 649 600                    | <b>Sunway TaihuLight</b><br>Sunway SW26010 (260 ядер, 1.45 GHz)   | NRCPC (Китай)          | Национальный суперкомпьютерный центр (Уси, Китай)                                   | 25                        | 6.051                         | 7                      | 480.848                    |
| 4                       | 61.444                              | 4 981 760                     | <b>Tianhe-2A (TH-IVB-FEP)</b><br>Intel Xeon E5-2692v2 (12 ядер, 2.2 GHz)<br>Matrix-2000                                     | NUDT (Китай)           | Национальный суперкомпьютерный центр (Гуанчжоу, Китай)                              | 57                        | 3.325                         | -                      | -                          |
| 5                       | 23.516                              | 448 448                       | <b>Frontera (Dell C6420)</b><br>Intel Xeon Platinum 8280 (28 ядер, 2.7 GHz)   | Dell (США)             | Техасский центр передовых компьютерных технологий (Остин, шт. Техас, США)           | -                         | -                             | -                      | -                          |
| 6                       | 21.230                              | 387 872                       | <b>Piz Daint (Cray XC50)</b><br>Xeon E5-2690v3 (12 ядер, 2.6 GHz)<br>NVIDIA Tesla P100                                      | Cray (США)             | Швейцарский национальный суперкомпьютерный центр (Лугано, Швейцария)                | 18                        | 8.904                         | 6                      | 496.978                    |
| 7                       | 20.159                              | 979 072                       | <b>Trinity (Cray XC40)</b><br>Intel Xeon E5-2698v3 (16 ядер, 2.3 GHz)<br>Intel Xeon Phi 7250 (68 ядер, 1.4 GHz)             | Cray (США)             | Лос-Аламосская национальная лаборатория (шт. Нью-Мексико, США)                      | 80                        | 2.660                         | 4                      | 546.124                    |
| 8                       | 19.88                               | 391 680                       | <b>AI Bridging Cloud Infrastructure (PRIMERGY CX2550 M4)</b><br>Xeon Gold 6148 (20 ядер, 2.4 GHz)<br>NVIDIA Tesla V100 SXM2 | Fujitsu (Япония)       | Национальный институт перспективной промышленной науки и технологии (Токио, Япония) | 6                         | 12.054                        | 5                      | 508.854                    |
| 9                       | 19.477                              | 305 856                       | <b>SuperMUC-NG (ThinkSystem SD650)</b><br>Intel Xeon Platinum 8174 (24 ядер, 3.1 GHz)                                       | Lenovo (Китай)         | Суперкомпьютерный центр им. Лейбница (Гархинг, федеральная земля Бавария, ФРГ)      | -                         | -                             | 15                     | 207.844                    |
| 10                      | 18.2                                | 288 288                       | <b>Lassen (IBM Power System AC922LC)</b><br>IBM POWER9 (22 ядра, 3.1 GHz)<br>NVIDIA Tesla V100                              | IBM (США)              | Ливерморская национальная лаборатория им. Э. Лоуренса (шт. Калифорния, США)         | -                         | -                             | -                      | -                          |

\* High-Performance Conjugate Gradient Benchmark – новый метод сравнительного тестирования HPC-систем

### 3.2. 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 списков (№№41÷46), тогда продемонстрировал 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** стал считать почти вдвое быстрее: реальная производительность – 61.4445 Pflops, пиковая – 100.6787 Pflops, вычислительная эффективность – 61.03%. Система **Summit** обгоняет **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 Титана 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** считает в 7.12 раза быстрее, чем **Sequoia**.

### 3.3. Лучшие производители лучших систем

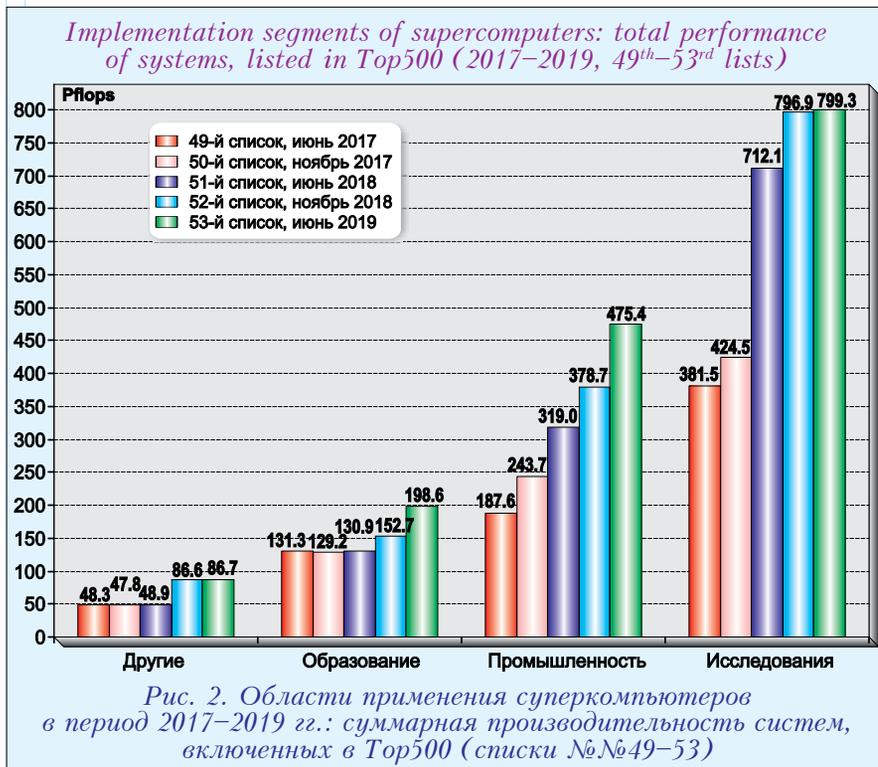
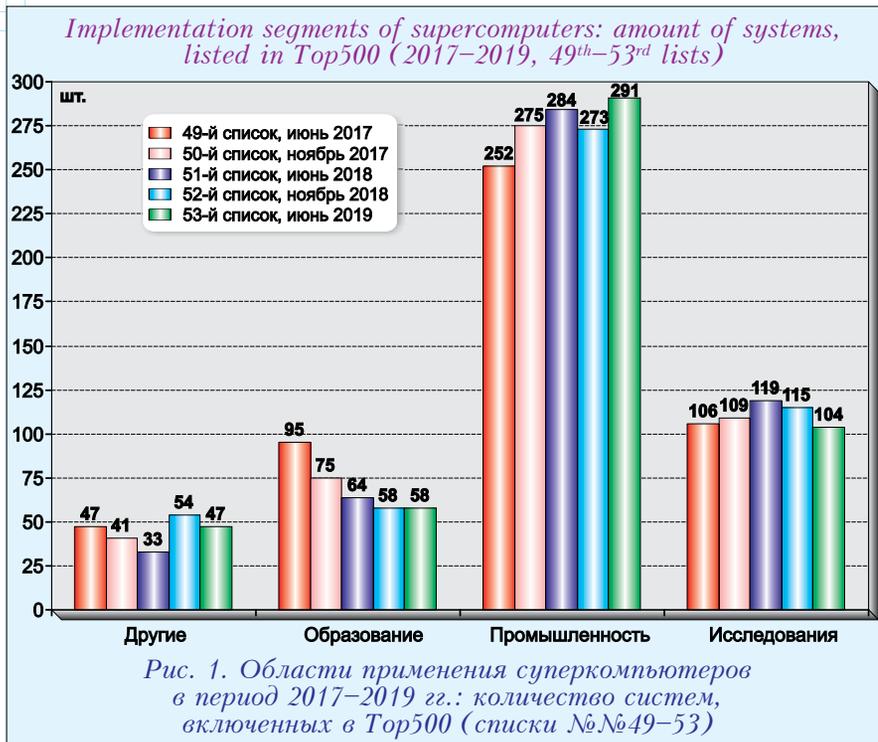
Среди производителей лидирующих суперкомпьютеров, которые вошли в первую десятку 53-го списка, места распределились следующим образом:

- 1 **IBM**, США – три системы с общей производительностью 261.44 Pflops;

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

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

- 4 **Cray**, США – две системы с общей производительностью 41.3887 Pflops;



CAD/CAM/CAE Observer по данным портала [www.top500.org](http://www.top500.org)

CAD/CAM/CAE Observer по данным портала [www.top500.org](http://www.top500.org)

5) *Dell Technology*, США – одна система с производительностью 23.5164 Pflops;

6) *Fujitsu*, Япония – одна система с производительностью 19.88 Pflops.

7) *Lenovo*, Китай – одна система с производительностью 19.4766 Pflops.

Компания *IBM* – лидирующий разработчик вычислительных систем из первой десятки *Top500*; суммарная производительность трех её супермашин, включая рекордсмена, составляет 261.44 Pflops.

#### 4. Области применения систем ВПВ

Наибольшее количество суперкомпьютеров из *Top500* работает в промышленности (*Industry*): в 53-м списке таких насчитывается 291 (58.2% от общего числа). В научные исследования (*Research*) вовлечены 104 системы (20.8%), а в сферу образования (*Academic*) – 58 систем или 11.6% (рис. 1, 3).

Год назад, в 51-м списке, супервычислители распределялись так: промышленность – 284 системы (56.8%); исследования – 119 систем (23.8%), образование – 64 системы (12.8%). Два года назад, в 49-м списке, картина была такой: в промышленности – 252 системы (50.4%); в научных исследованиях – 106 систем (21.2%), в образовании – 95 систем (19%). Три года назад, в списке №47, суперкомпьютеры использовались следующим образом: в промышленности – 244 системы (48.8%); в исследованиях – 111 систем (22.2%), в образовании – 94 системы (19.8%).

По суммарной производительности в 53-м списке впереди идут суперкомпьютеры для науки – 799.3 Pflops (51.2% от общей производительности всех систем, включенных в рейтинг). На промышленность работает совокупная вычислительная мощность 475.4 Pflops (30.5%), а на образование – 198.6 Pflops или 12.7% (рис. 2, 4).

Следует подчеркнуть, что во всех пользовательских сегментах мы видим значительный прирост производительности даже за полгода: в списке №52 показатели суммарной производительности в этих сферах применения были намного скромнее – 796.9, 378.7 и 152.7 Pflops.

Сфера исследований по суммарной производительности применяемых суперкомпьютеров в июне 2019 года обогнала и промышленность, и образование – в 1.7 и в 4 раза соответственно. Эта тенденция сохраняется на длительном временном отрезке: средние значения опережения, взятые за период с ноября 2005 года по июнь 2019 года, составляют соответственно 2 и 3.1 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 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*).

#### 5. 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 №№49÷53 рейтинга *Top500*) наглядно отображены на диаграммах (рис. 5÷10). На рис. 7, 8, построенных для последних пяти лет (списки №№44÷53), можно проследить тенденции в развитии регионов, построивших

*Shares of amount of systems, which correspond to implementation segments of supercomputers, listed in Top500: 2019, 53<sup>rd</sup> list*

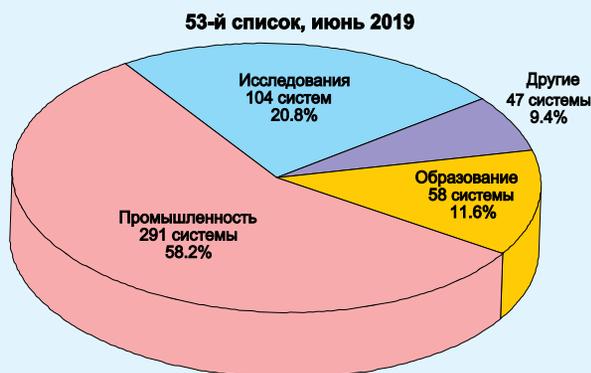


Рис. 3. Количественное распределение систем из *Top500* по областям применения в 2019 г. (список №53)

*Shares of total performance, which correspond to implementation segments of supercomputers, listed in Top500: 2019, 53<sup>rd</sup> list*



Рис. 4. Распределение суммарной производительности систем из *Top500* по областям применения в 2019 г. (список №53)

супервычислители петафлопсного класса и имеющих амбиции пересечь эксафлопсный рубеж.

### 5.1. США

По состоянию на июнь 2019 года (53-й список), в США инсталлировано 116 суперкомпьютеров уровня *Top500* (23.2% от 500), что на 7 больше, чем полгода назад: в ноябре 2018 года (52-й список) таковых было 109 (21.8%).

Год назад, в июне 2018 года (51-й список), американцы имели 124 суперкомпьютера из попавших в рейтинг (24.8%).

Уже в четырех списка подряд (№№50÷53) этот показатель отстает от китайского, что для США означает второе место по числу суперсистем.

В июне 2019 года суммарная производительность систем, инсталлированных в США, достигла 600.0 *Pflops*; за год этот показатель вырос с 458.3 *Pflops* на +30.9%. При этом их доля в общей производительности *Top500* за год увеличилась с 37.8% до 38.5%. По этому показателю США уже в трех списках подряд (№№51÷53) обходят Китай и занимают первое место по суммарной производительности.

По суммарной производительности инсталлированных суперсистем США занимают 1-е место в мире. За год этот показатель у них вырос на +30.9% – с 458.3 до 600.0 *Pflops*.

### 5.2. Китай

В июне 2019 года (53-й список) количество суперсистем, инсталлированных в Китае, составило 219 или 43.8% от всего числа включенных в *Top500*. Год назад (51-й список) этот показатель был чуть ниже – 206 систем или 41.2%. Таким образом, Китай остается лидером по числу систем в *Top500*.

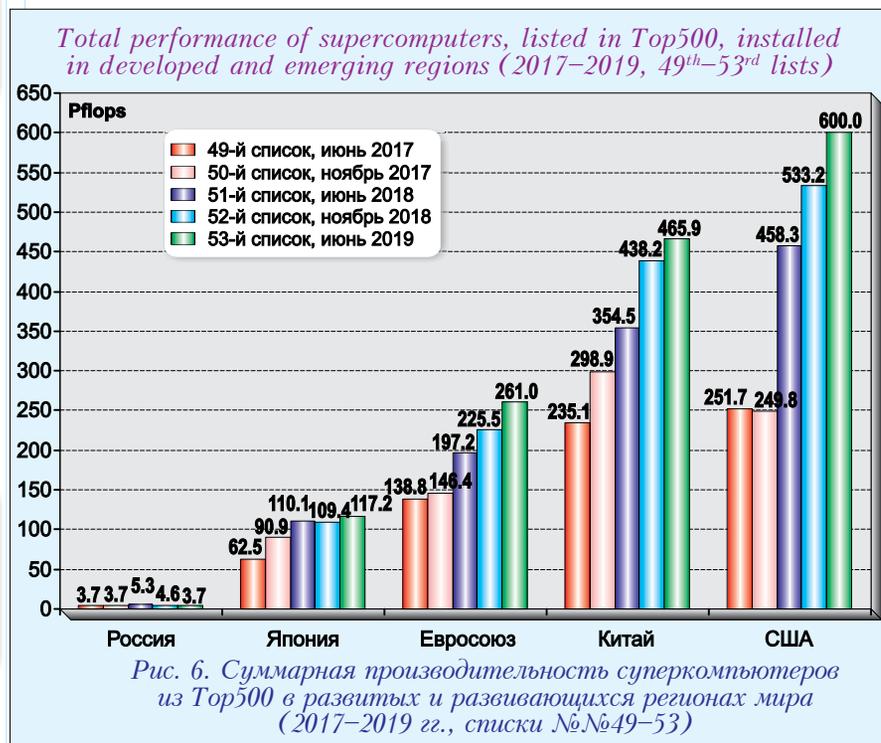
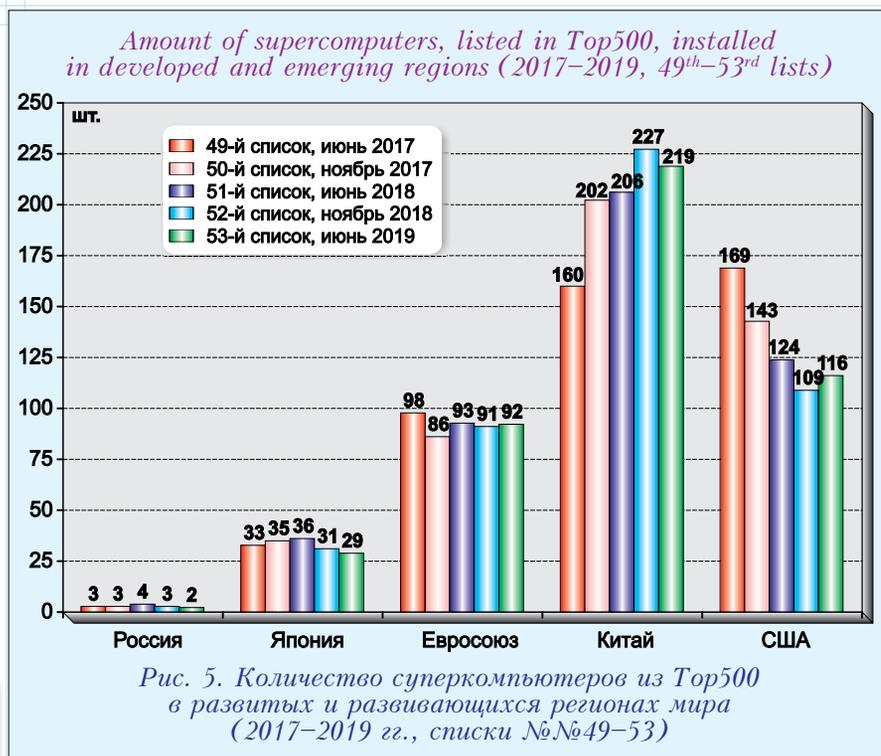
Лидером регионального рейтинга по количеству инсталлированных систем остается Китай. В июне 2019 г. количество китайских систем достигло 219, а их доля в *Top500* – 43.8%.

По суммарной производительности топовых суперкомпьютеров

в 53-м списке (465.95 *Pflops* или 29.9% от общей) Китай находится на 2-м месте. За год этот важный показатель вырос на +31.4% (в 51-м списке – 354.5 *Pflops* или 29.3%).

### 5.3. Евросоюз

Общее число систем из стран ЕС в списке №53 составило 92, то есть 18.4% от поголовья



CAD/CAM/CAE Observer по данным портала [www.top500.org](http://www.top500.org)

CAD/CAM/CAE Observer по данным портала [www.top500.org](http://www.top500.org)

суперкомпьютеров уровня *Top500*. При этом за год оно уменьшилось на единицу: в июне 2018 года таких систем было 93 (18.6%).

Суммарная производительность этих 92-х систем составляет 261.0 *Pflops* – то есть, 16.7% от общего значения для *Top500*. За год этот показатель увеличился на +32.4% – с 197.2 *Pflops* (16.3% от общего значения).

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 Франция – 67.2 *Pflops*, 19 систем;
- 2 Германия – 59.1 *Pflops*, 14 систем;
- 3 Великобритания – 40.0 *Pflops*, 18 систем.

На долю этих трех стран сегодня приходится 53.4% суперкомпьютеров из *Top500*, расположенных на территории ЕС, и 63.7% их суммарной производительности.

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

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

На тот момент на их долю приходилось 65.6% суперкомпьютеров из *Top500* на территории ЕС и 65.9% их суммарной производительности.

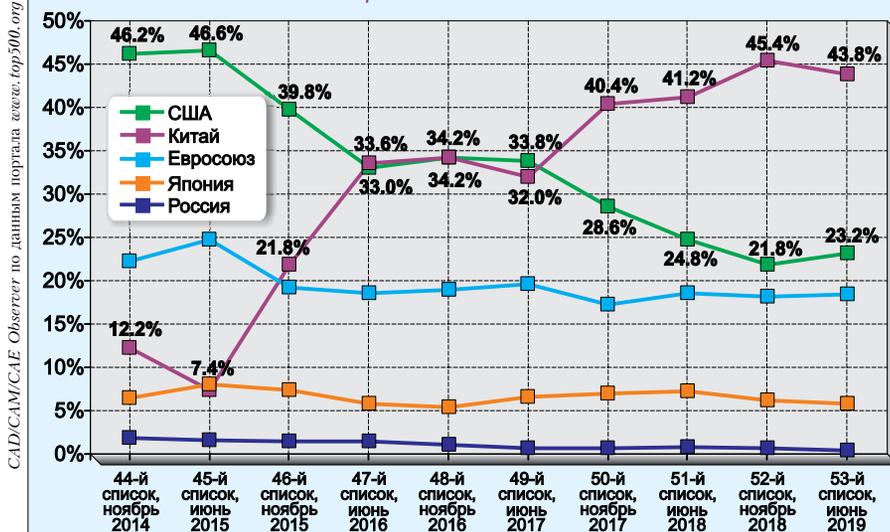
Отметим, что в 53-й список *Top500* попали супервычислители и 13-ти стран Евросоюза (всего членами ЕС являются 28 стран); год назад такого успеха смогли достичь лишь 11. Очевидно, что завершение долгого процесса *Brexit* окажет значительное влияние на расстановку суперкомпьютерных сил.

#### 5.4. Япония

За последний год число инсталлированных в Стране Восходящего Солнца систем, которые проходят в *Top500*, уменьшилось на семь: с 36-ти (7.2% от общего значения) в 51-м списке до 29-ти (5.8%) в 53-м. При этом их суммарная производительность достигла 117.2 *Pflops* (7.5% от общей), увеличившись на +6.5% по сравнению с 51-м списком (110.1 *Pflops* или 9.1% от общей).

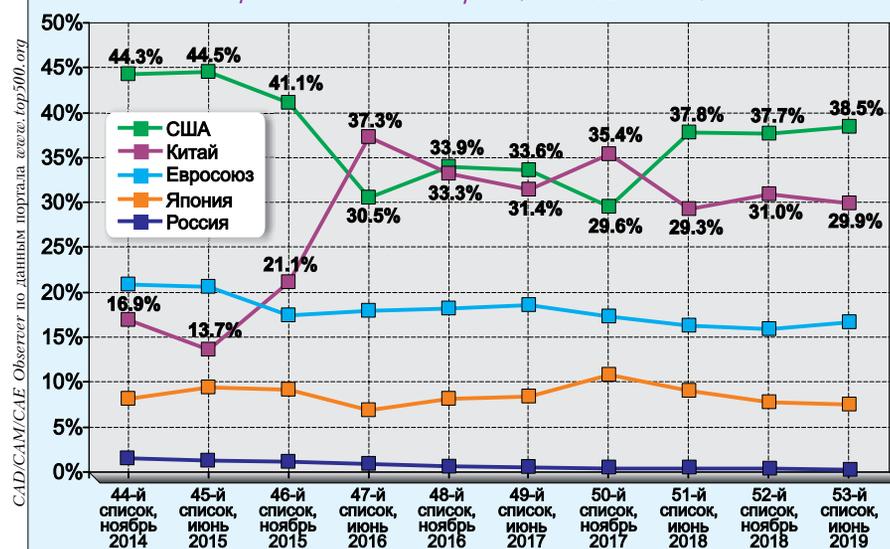
В последних тринадцати списках (с 41-го по 53-й) Япония неизменно занимает 4-е место по величине суммарной производительности. Напомним, что на 2-й позиции эта страна находилась в июне и ноябре 2011 года с показателями 11.2 *Pflops* (19% от общей) и 14.2 *Pflops* (19.2%), что было достигнуто благодаря вычислительной мощи рекордсмена списков №37 и №38 – *K computer*; но уже в списке №51 бывлой лидер оказался за пределами “горячей десятки”.

*Regional shares of amount of supercomputers for 2014–2019 (Top500, 44<sup>th</sup>–53<sup>rd</sup> lists)*



*Рис. 7. Изменение региональных долей от общего количества суперкомпьютеров из Top500 в период 2014–2019 гг. (списки №№44–53)*

*Regional shares of total performance of supercomputers for 2014–2019 (Top500, 44<sup>th</sup>–53<sup>rd</sup> lists)*



*Рис. 8. Изменение региональных долей от суммарной производительности суперкомпьютеров из Top500 в период 2014–2019 гг. (списки №№44–53)*

### 5.5. Россия

Российская Федерация в 53-м списке *Top500* представлена двумя системами (0.4% от общего числа в *Top500*) с суммарной производительностью 3.7 Pflops (0.2% от общего значения в *Top500*). Год назад в списке №51 были представлены четыре системы (0.8% от 500) с суммарной производительностью 5.336 Pflops (0.44%).

Напомним параметры двух российских петафлопсников:

- На 93-м месте находится суперкомпьютер **T-Platform A-Class Cluster** под названием “**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 60 раз.

- На 365-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 123.8 раза.

### 6. 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 50 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*, – *IBM*, *National Research Center of Parallel Computer Engineering & Technology (NRCPC)*, *National University of Defense Technology*, *Cray*, *Dell Technologies*, *Fujitsu*, *Lenovo*;

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

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

По количеству установленных суперкомпьютеров в 53-м списке лидером является китайская компания *Lenovo*. Её показатели в трех последних списках (июнь и ноябрь 2018 г., июнь 2019 г.) таковы: 119, 142 и 175 систем соответственно (рис. 11).

На 2-м месте находится китайская же компания *Inspur*, построившая 68, 84 и 71 систему уровня *Top500* – в июне и ноябре 2018 года и в июне 2019-го соответственно.

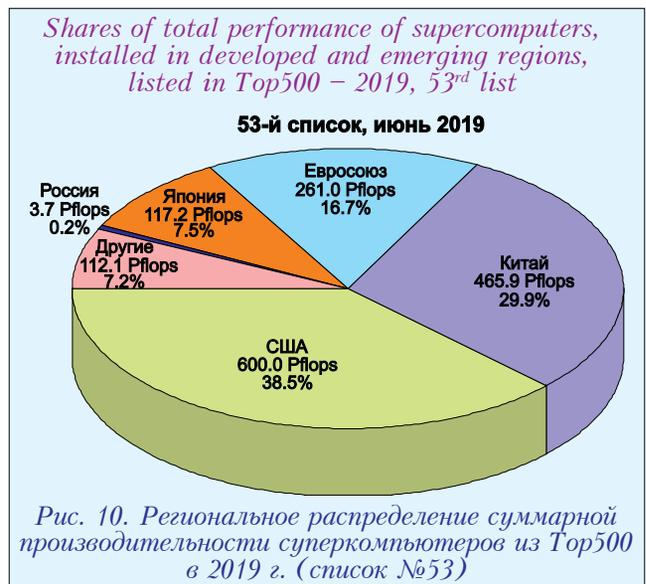
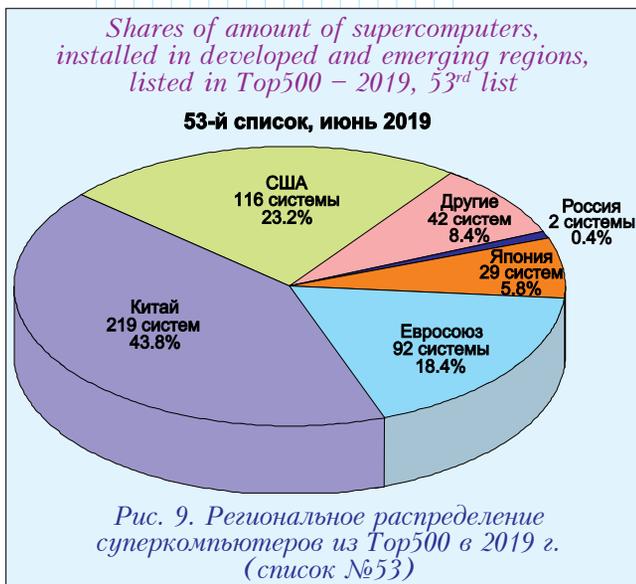
На 3-м месте обосновалась такая же китайская компания *Sugon*, в активе которой 55, 57 и 63 системы.

На 4-м месте располагается компания *Cray*, инсталлировавшая 56, 52 и 42 системы.

Пятерку замыкает американская компания *Hewlett-Packard Enterprise (HPE)*. В трех последних списках показатели *HPE* таковы: 79, 46 и 40 систем соответственно.

Учитывая недавнее поглощение [2], можно подсчитать, что для объединенной компании *HPE+Cray* суммарное количество инсталлированных систем в 53-м списке соответствовало бы второму месту – 82 системы.

Всего лишь на 7-м месте оказалась в 53-м списке именитая корпорация *IBM* (напомним, что



CAD/CAM/CAE Observer по данным портала [www.top500.org](http://www.top500.org)

часть её серверного бизнеса была продана компании *Lenovo*), построившая 19, 16 и 16 систем из пятисот в трех последних списках соответственно. Однако теперь в активе *IBM* значится новый лидер *Top500*.

53-м списке составило бы 316.3 *Pflops* и соответствовало бы второму месту.

На пятое место по суммарной производительности впервые поднялась американская компания *Dell Technologies* – её результат в июне

Лидером по числу построенных суперкомпьютеров уровня *Top500* стала китайская компания *Lenovo* – на её счету 175 систем.

В аспекте суммарной производительности установленных систем ситуация выглядит несколько иначе. Лидером *Top500* по этому показателю в списках №№51÷53 является компания *IBM* (рис. 12), построившая систему *Summit*, возглавляющую мировой рейтинг. В июне и ноябре 2018 года и в июне 2019-го этот важнейший показатель супервычислителей от *IBM* имел значения 242.0, 299.3 и 324.3 *Pflops* соответственно.

На второй позиции в списках №№52 и 53 находится компания *Lenovo*, которая поднялась с третьей позиции в 51-м списке. В июне и ноябре 2018 года и в июне 2019-го её показатели были следующими: 146.7, 238.4 и 306.2 *Pflops*.

На третью позицию в списках №№52 и 53 оказалась оттеснена американская компания *Cray*, которая в 51-м списке была второй. Напомним, что прежде она лидировала по суммарной производительности – в списках с 45-го по 50-й. В трех последних списках этот показатель имел следующие значения: 200.5, 205.6 и 196.1 *Pflops* соответственно.

На четвертой позиции в списках №№51÷53 располагается американская компания *HPE*, занимавшая вторую позицию в 49-м и 50-м списках. В июне и ноябре 2018 года и в июне 2019-го её показатели были такими: 120.4, 104.4 и 120.2 *Pflops* соответственно.

Отметим, что суммарное быстродействие установленных систем для объединенной компании *HPE+Cray* в

Amount of supercomputers, listed in Top500 (2018–2019, 51<sup>st</sup>–53<sup>rd</sup> lists), grouped according to systems vendors (>50Pflops)

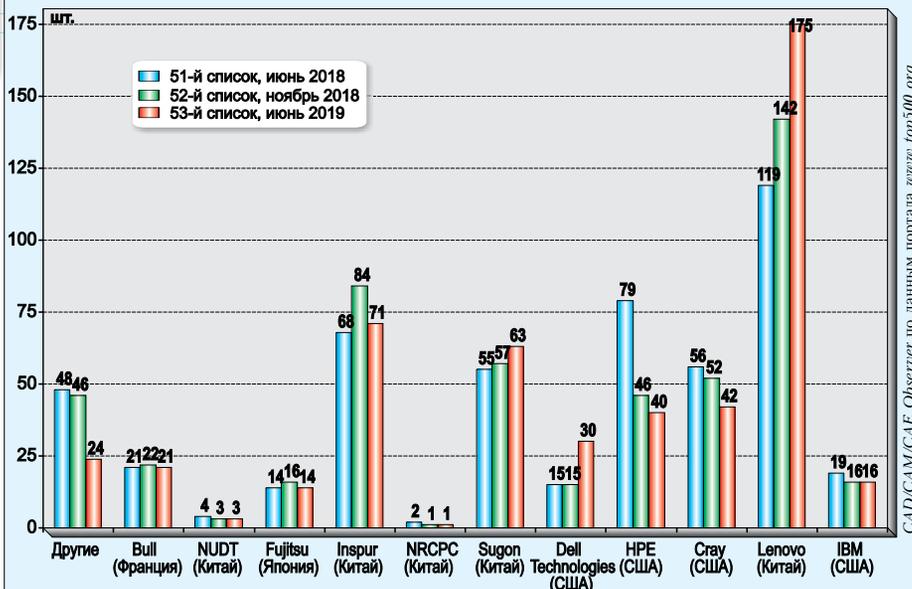


Рис. 11. Количество суперкомпьютеров, созданных разными производителями (>50Pflops) в период 2018–2019 гг. (Top500, списки №№51–53)

Total performance of supercomputers, listed in Top500 (2018–2019, 51<sup>st</sup>–53<sup>rd</sup> lists), grouped according to systems vendors (>50Pflops)

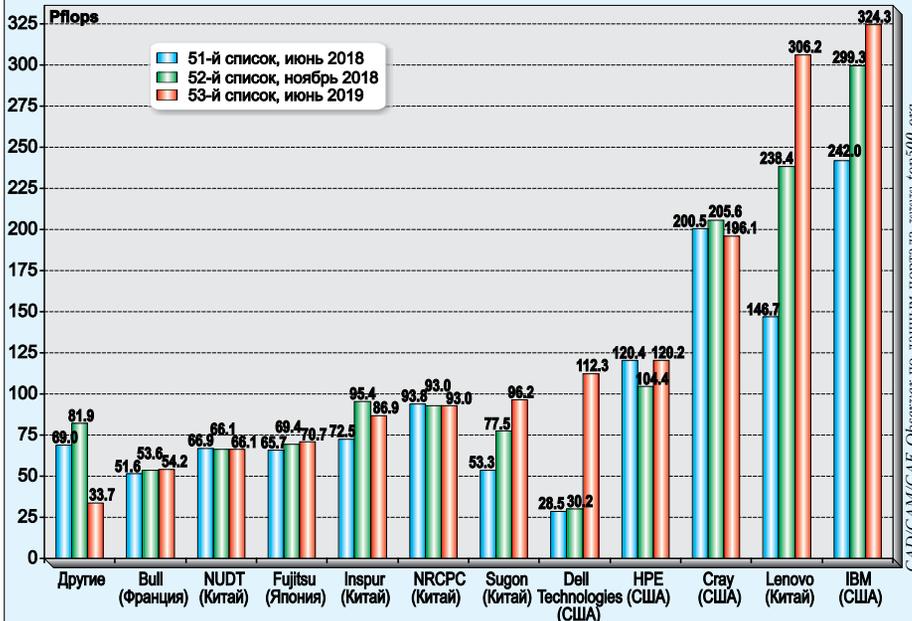


Рис. 12. Распределение суммарной производительности суперкомпьютеров из Top500 по производителям (>50Pflops) в период 2018–2019 гг. (списки №№51–53)

2019 года составил 112.3 Pflops.

Лидером по суммарной производительности систем в Top500 является американская компания IBM с показателем 324.3 Pflops.

## 7. Число процессорных ядер в суперкомпьютерах

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

Пик популярности 18-ядерных процессоров приходился на 52-й список – 61 система, 16-ядерных – на 51-й список (109 систем), 14-ядерных – 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).

В 53-м списке наиболее популярными стали 20-ядерные процессоры – на их базе построено 166 систем.

Наибольшей популярностью при строительстве суперкомпьютеров, включенных в 53-й список Top500, пользовались 20-ядерные процессоры – на их базе создано 166 систем.

Amount of supercomputers, listed in Top500, 49<sup>th</sup>–53<sup>rd</sup> lists, based on various multicore processors – rise of popularity and the skids for processors with 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 cores for 2017–2019

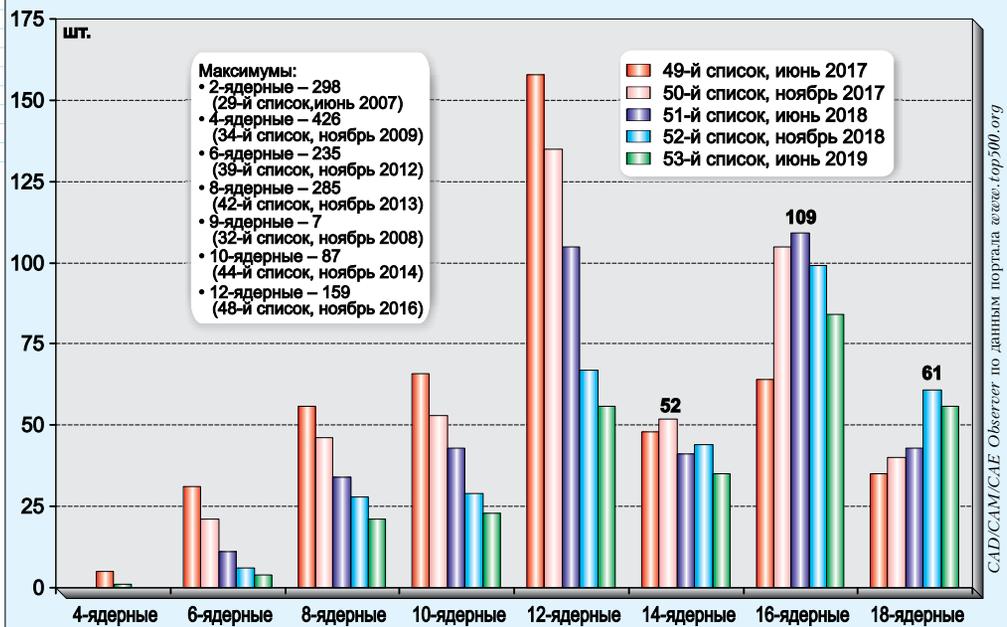


Рис. 13. Рост и падение популярности процессоров с 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 ядрами в суперкомпьютерах из Top500 в период 2017–2019 гг. (списки №№49–53)

Amount of supercomputers, listed in Top500, 49<sup>th</sup>–53<sup>rd</sup> lists, based on various multicore processors – changes of popularity for processors with 20, 22, 24, 28, 32, 64, 68 and 260 cores for 2017–2019

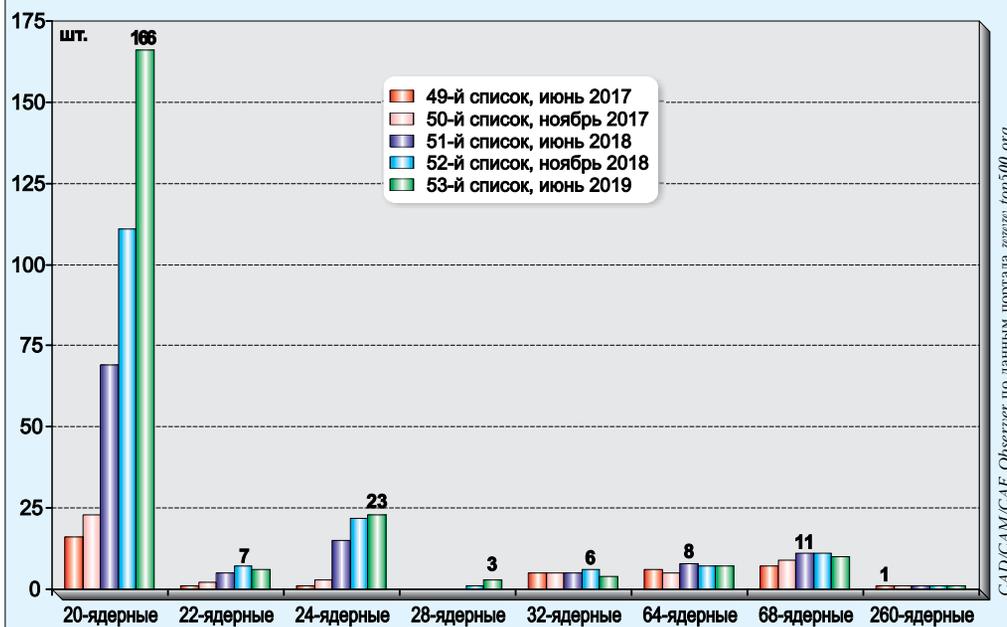


Рис. 14. Изменение популярности процессоров с 20, 22, 24, 28, 32, 64, 68 и 260 ядрами в суперкомпьютерах из Top500 в период 2017–2019 гг. (списки №№49–53)

Число суперкомпьютеров на базе 22-ядерных процессоров в списке №53 составило шесть (на одну меньше, чем в 52-м), а на базе 24-ядерных

процессоров возросло до 23. Появились три системы на базе 28-ядерных процессоров. Наибольшее число систем на базе 32-ядерных процессоров пока наблюдалось в 52-м списке – шесть, а на базе 64- и 68-ядерных процессоров – в 51-м списке: 8 и 11 систем соответственно.

Кроме того, в последних семи списках (с 47-го по 53-й) имеется одна система, в которой нашли применение 260-ядерные процессоры.

Пик популярности систем с суммарным числом ядер от 16k до 32k пришелся на 43-й список – 201 система (рис. 15).

Наиболее распространенное суммарное число ядер в одной системе сейчас лежит в пределах от 32k до 64k, где  $k = 1024$ .

В текущем 53-м списке таких систем оказалось 245, а пик пока приходится на 51-й список – 264 системы. На втором месте по популярности сейчас находятся системы с числом ядер в пределах от 64k до 128k (107 систем), а на третьем месте – с числом ядер от 128k до 256k (всего 28 систем).

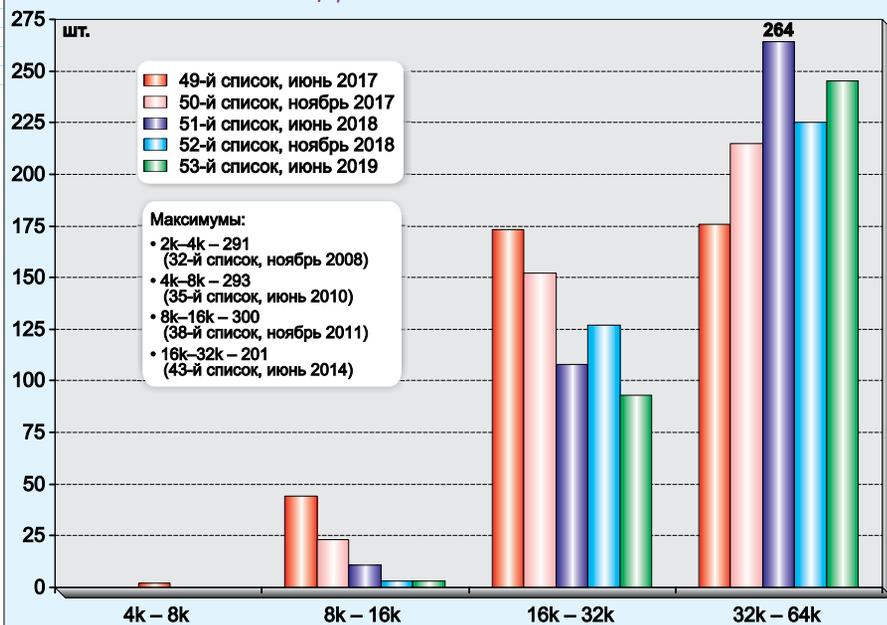
Суперкомпьютеры с рекордными характеристиками содержат значительно больше ядер – их число превышает 256k (рис. 16). Количество таких вычислителей в 53-м списке достигло 24.

Рекордсменом в этой номинации остается *Sunway Taihu-Light*, лидировавший по производительности 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  $M+$ :

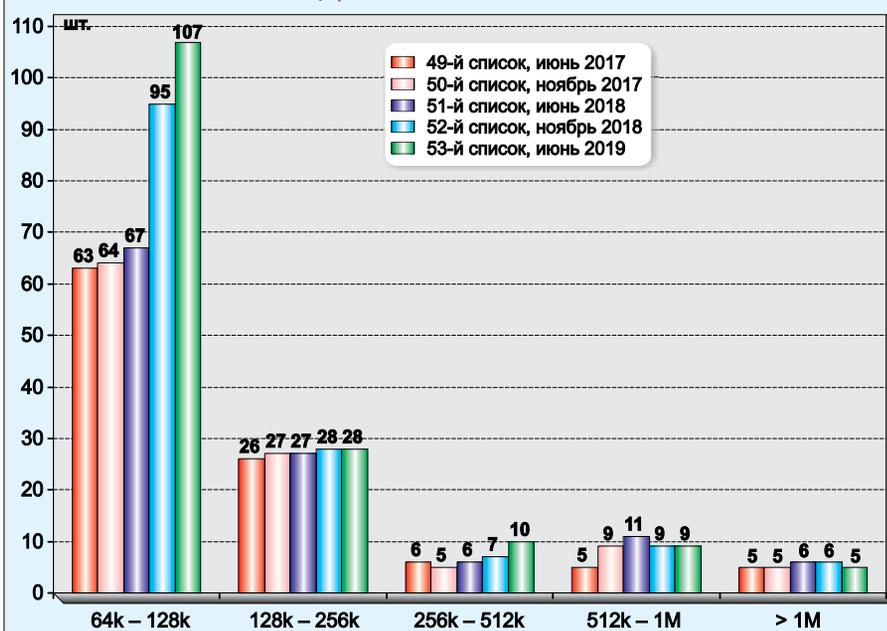
- *Tianhe-2A* – 4 981 760 ядер (4.75M). До модернизации он назывался просто *Tianhe-2* и возглавлял списки №№41÷46, имея 3 120 000 ядер (2.98M);
- *Summit*, лидер списков №№51÷53 – 2 414 592 ядра (2.3M), а до модернизации и настройки – 2 282 544 ядра (2.18M);
- *Sequoia*, лидер 39-го списка – 1 572 864 ядра (1.5M);
- *Sierra* – 1 572 480 ядер (1.5M);
- *Shoubu* с 953 280 ядрами (0.91M), занявший в

*Amount of supercomputers, listed in Top500 (2017–2019, 49<sup>th</sup>–53<sup>rd</sup> lists), based on definite number of processor cores (< 64k)*



*Рис. 15. Количественное распределение суперкомпьютеров в Top500 (2017–2019 гг., списки №№49–53) в зависимости от числа процессорных ядер (< 64k)*

*Amount of supercomputers, listed in Top500 (2017–2019, 49<sup>th</sup>–53<sup>rd</sup> lists), based on extreme number of processor cores (> 64k)*



*Рис. 16. Количество суперкомпьютеров в Top500 с экстремальным числом процессорных ядер (> 64k) в период 2017–2019 гг. (списки №№49–53)*

53-м списке 472-е место (разработчики – японские компании *PEZY Computing* и *Exascalr*).

Отметим, что четыре из шести названных систем являются гибридными.

## 8. Суперкомпьютеры с гибридной архитектурой

В текущем, 53-м списке *Top500* насчитывается 134 системы с гибридной архитектурой, а их доля составляет 26.8%. Это на 24 системы больше, чем было год назад в 51-м списке (110 систем или 22%), но на 4 меньше, чем полгода назад в 52-м списке (128 систем или 27.6%).

Число суперкомпьютеров с гибридной архитектурой составляет 134 – это 26.8% 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* (2-е место), *Tianhe-2A* (4-е место), *Piz Daint* (6-е место), *AI Bridging Cloud Infrastructure* (8-е место) и *Lassen* (10-е место).

В июне 2019 года наиболее популярной в гибридных системах была комбинация “*Intel + NVIDIA*”. Всего в *Top500* таких систем насчитывается 120 ([рис. 18](#)); полгода и год назад их было 120 и 92 соответственно.

На втором месте находится сочетание “*Intel + Xeon Phi*” (пять суперкомпьютеров; полгода и год назад их было немного больше – шесть и семь соответственно).

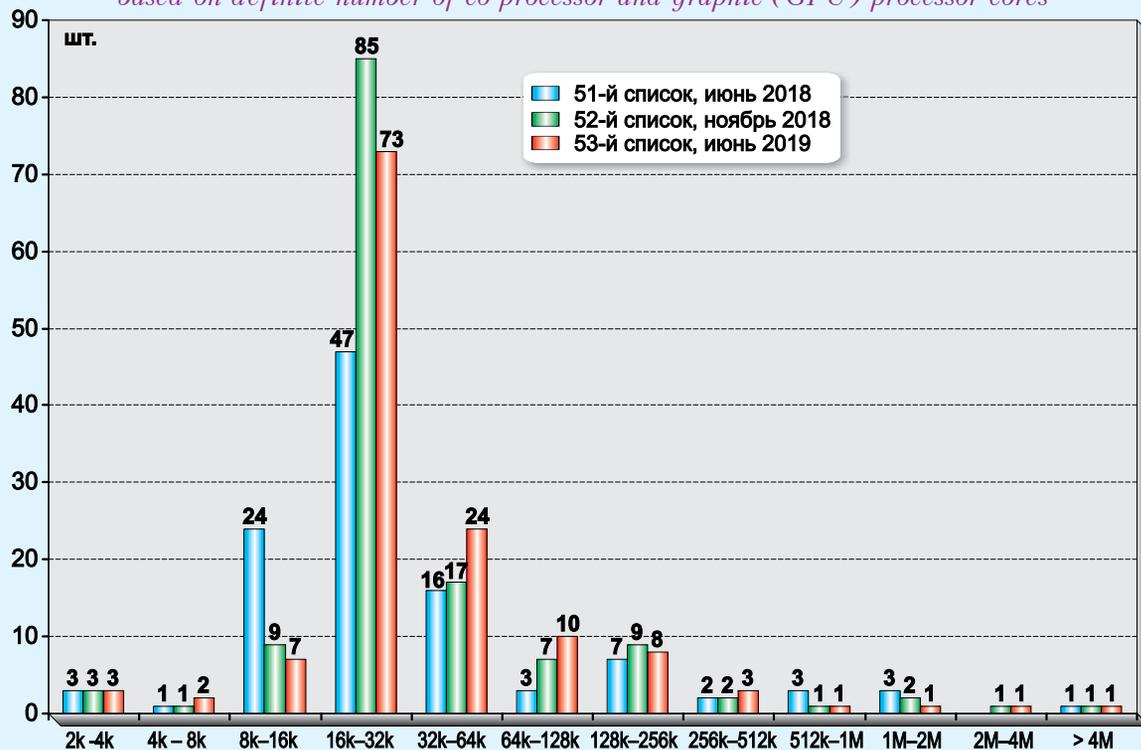
По суммарной производительности среди гибридных суперкомпьютеров на лидирующих позициях находится комбинация “*Intel + NVIDIA*”, набравшая 292.0 *Pflops* ([рис. 19](#)). Полгода и год назад для этой категории гибридных систем этот параметр составлял 239.6 и 173.4 *Pflops* соответственно.

На втором месте по суммарной производительности – комбинация “*IBM + NVIDIA*” с показателем 263.5 *Pflops*. Полгода и год назад этот параметр составлял 255.9 и 194.9 *Pflops* соответственно, что обеспечивало первое место в 52-м и 51-м списках.

На третьем месте остается комбинация “*Intel + Matrix*”, чей показатель не изменился: 61.4 *Pflops*.

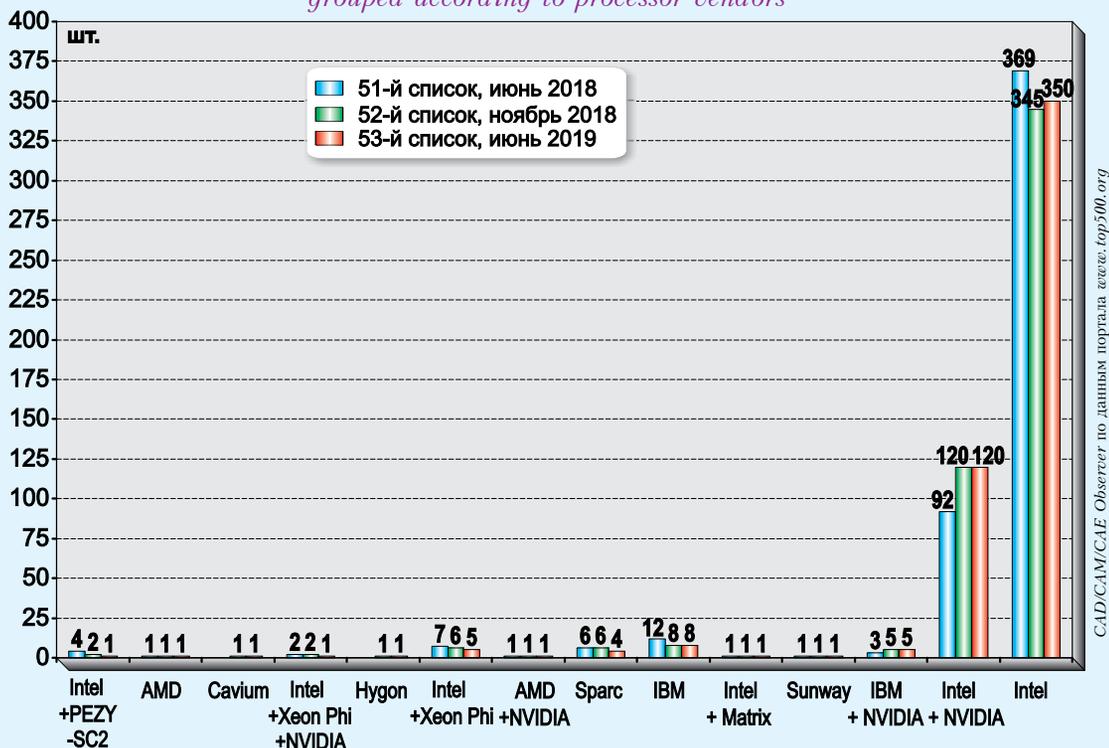
Наибольшую суммарную производительность показали те гибридные суперкомпьютеры, в которых применяется сочетание “*Intel + NVIDIA*”: 292.0 *Pflops* для 120 систем.

*Amount of supercomputers, listed in Top500 (2018–2019, 51<sup>st</sup>–53<sup>rd</sup> lists), with hybrid architecture based on definite number of co-processor and graphic (GPU) processor cores*



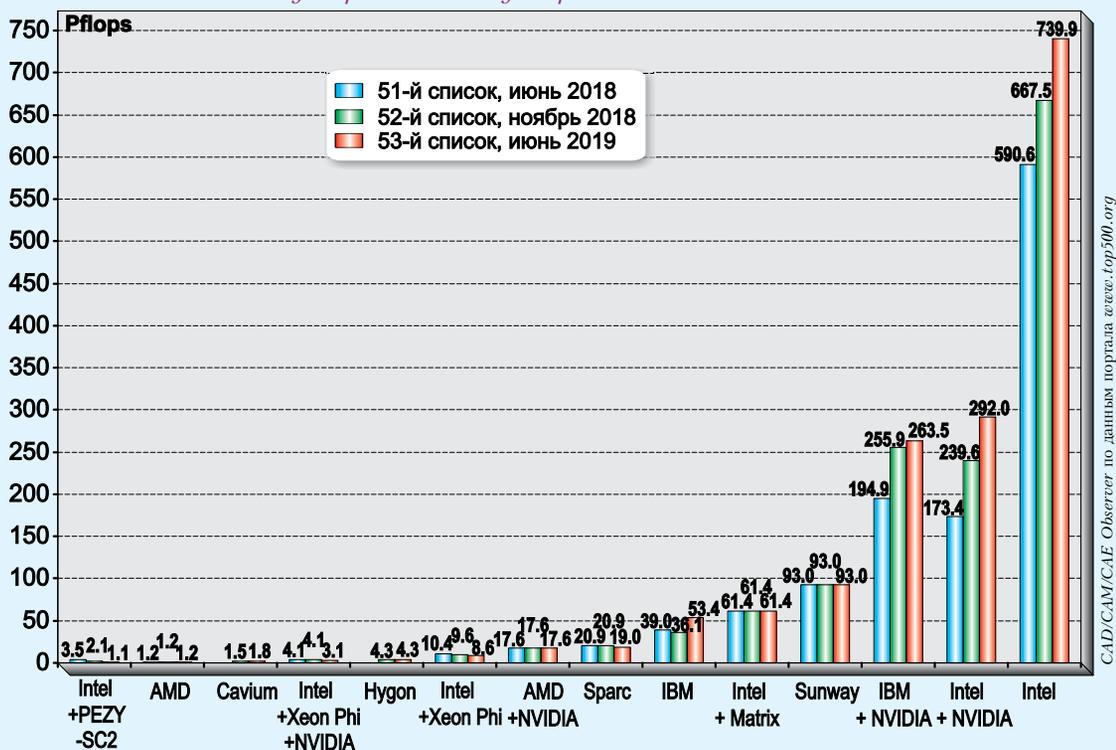
*Рис. 17. Количественное распределение входящих в Top500 суперкомпьютеров с гибридной архитектурой в зависимости от числа ядер в сопроцессорах и графических процессорах (2018–2019 гг., списки №№51–53)*

*Amount of supercomputers, listed in Top500 (2018–2019, 51<sup>st</sup>–53<sup>rd</sup> lists), grouped according to processor vendors*



*Рис. 18. Количественное распределение суперкомпьютеров из Top500 в зависимости от производителя процессоров (2018–2019 гг., списки №№ 51–53)*

*Total performance of supercomputers, listed in Top500 (2018–2019, 51<sup>st</sup>–53<sup>rd</sup> lists), grouped according to processor vendors*



*Рис. 19. Распределение суммарной производительности суперкомпьютеров в Top500 в зависимости от производителя процессоров (2018–2019 гг., списки №№ 51–53)*

## 9. Ведущие производители процессоров для суперкомпьютеров

Поставщиком процессоров для подавляющего большинства суперкомпьютеров, входящих в *Top500*, является компания *Intel* (рис. 18). В июне и ноябре 2018 года и июне 2019-го количество систем на базе интеловских процессоров составляло 475, 476 и 478 соответственно (в том числе, гибридных систем – 106, 131, 128).

Остальные компании в 53-м списке отранжированы следующим образом:

- 2-е место занимает *IBM* – 13 систем на их процессорах, в том числе пять гибридных;
- 3-е место за компанией *Fujitsu* – четыре системы, гибридных нет;
- 4-е место у *AMD* – две системы, одна из которых гибридная;
- 5-е место – китайский производитель *NRCPC* с одной негибридной системой;
- 6-е место – китайский производитель *Hygon* с одной негибридной системой;
- 7-е место – американский производитель *Cavium* с одной негибридной системой.

Сравнение по показателю суммарной производительности систем, построенных на процессорах соответствующих вендоров, для последних трех списков тоже неизменно оказывается в пользу *Intel*: 843.5, 984.4 и 1106.1 *Pflops* соответственно (рис. 19), включая весомый вклад гибридных систем (252.9, 316.9 и 366.3 *Pflops*).

Остальные компании по суммарной производительности их процессоров в 53-м списке расположились следующим образом:

- на 2-е место вышла *IBM* с показателем 317.0 *Pflops* (вклад гибридных систем – 263.5 *Pflops*);
- 3-е место занимает китайский производитель *NRCPC*, продемонстрировавший в июне 2016 года единственную систему с показателем 93 *Pflops*;
- 4-е место достается японской компании *Fujitsu* с показателем 19.0 *Pflops*;
- 5-е место – американская компания *AMD* с показателем 18.76 *Pflops* (вклад гибридной системы составляет 17.59 *Pflops*);
- 6-е место – китайский производитель *Hygon* с показателем 4.3 *Pflops*;
- 7-е место – американский производитель *Cavium* с показателем 1.76 *Pflops*.

Компания *Intel* является лидером и по количеству, и по суммарной производительности суперкомпьютеров, построенных на базе её процессоров и сопроцессоров: 478 систем и 1106.1 *Pflops*.

Интеловские процессоры распределяются по следующим семействам: *Broadwell*, *Nehalem*, *Westmere*, *Haswell*, *IvyBridge*, *SandyBridge*, *Cascade Lake*, *Phi*, *Silver*, *Gold* и *Platinum*

Все процессоры “Голубого гиганта” принадлежат к семейству *POWER*, процессоры *NRCPC* – к семейству *Sunway*, процессоры *Fujitsu* имеют архитектуру *SPARC*, процессоры *AMD* принадлежат к семейству *Opteron*, процессор *Hygon*

имеет архитектуру *AMD Zen*, а процессор *Cavium* построен на базе системы команд *ARM*. ☺

### Об авторе:

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

### Литература

1. Павлов С. Системы высокопроизводительных вычислений в 2018–2019 годах: обзор достижений и анализ рынков. Часть I. Серверы, облачная ИТ-инфраструктура, квантовые вычисления // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2019, №4, с. 68–77.
2. Павлов С. Системы высокопроизводительных вычислений в 2018–2019 годах: обзор достижений и анализ рынков. Часть II. *HPC*-системы // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2019, №4, с. 79–87.
3. Павлов С. Системы высокопроизводительных вычислений в 2017–2018 годах: обзор достижений и анализ рынков. Часть III. Суперкомпьютеры // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2018, №5, с. 19–32.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. Павлов С. Системы высокопроизводительных вычислений в 2017–2018 годах: обзор достижений и анализ рынков. Часть IX. Российские рынки в преддверии реализации национальных проектов // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2019, №3, с. 65–79.