

# Системы высокопроизводительных вычислений в 2020–2021 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 28 лет назад. Актуальные списки публикуются два раза в год – в июне и ноябре; новейший, 57-й список был представлен 28 июня 2021 года на ежегодной конференции *ISC High Performance 2021 Digital*, которая второй год подряд в условиях пандемии *COVID-19* проводилась в режиме онлайн. Напомним, что ранее традиционным местом проведения конференции был Франкфурт (Германия).

При изложении результатов развития мировой суперкомпьютерной отрасли практически полностью сохранена структура части III прошлогоднего обзора [3]. Все ранее подготовленные публикации на эту тему (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) (см. список публикаций в [4]).

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

- 1 Интегральные показатели рейтинга *Top500*
- 2 Лидеры рейтинга *Top500*:
  - Японский суперкомпьютер *Fugaku* сохраняет лидерство
  - Горячая десятка
  - Былые рекордсмены еще в строю
  - Лучшие производители лучших систем
- 3 Области применения систем ВПВ
- 4 Региональный срез рейтинга *Top500*
  - США
  - Япония
  - Китай
  - Евросоюз
  - 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 57-й список *Top500*, увеличилась в сравнении с показателями, обнародованными полугода назад в 56-м списке, на +14.7%: с 2428.8 до 2786.1 петафлопсов или до 2.7861 эксафлопсов (*Eflops*). Отметим, что суммарная производительность превысила 1 эксафлопс еще в 51-м списке.

При сравнении 57-го списка с 55-м (2206.1 *Pflops*) получается, что за год прирост составил +26.3%. Если сравнить данные 55-го списка и 53-го (1559.9 *Pflops*), то видно, что два года назад прирост был значительно выше: +41.4%.

Суммарная производительность суперкомпьютеров, включаемых в *Top500*, за год выросла на +26.3% и достигла 2.7861 *Eflops* (57-й список, июнь 2021 г.).

Еще один важный момент: “проходной балл” в 57-й список достиг величины 1.521 *Pflops* реального (по *LINPACK*) быстродействия. Актуальный перечень обладателей суперкомпьютеров уровня *Top500* включает 32 страны.

По состоянию на июнь 2021 года, количество стран, обладающих суперкомпьютерами уровня *Top500*, составляет 32. Все вычислители, включенные в 57-й список, демонстрируют реальное быстродействие не менее 1.521 петафлопсов.

Впервые все пять сотен лучших суперкомпьютеров оказались “петафлопсниками” еще в июне 2019 года, когда проходной балл в 53-й список составил 1.022 *Pflops*.

### 2. Лидеры рейтинга *Top500*

#### 2.1 Японский суперкомпьютер *Fugaku* сохраняет лидерство

Новейший, 57-й список рейтинга *Top500*, обнародованный в июне 2021 года, зафиксировал, что японский суперкомпьютер *Fugaku*, построенный в Институте физико-химических исследований (*RIKEN*) в городе Кобе компанией *Fujitsu*, сумел сохранить лидерство в течение года, начиная с 55-го списка (июнь 2020 г.), когда он возглавил рейтинг.

В ноябре 2020 года (56-й список) эта система обновила свои же рекорды для реальной и для пиковой производительности – 442.01 и 537.212 *Pflops* соответственно (табл. 1). Напомним,

Таблица 1. Первая десятка международного суперкомпьютерного рейтинга Top500 в июне 2021 года

Место в рейтинге Top500 (55-й список)	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	442.01	7 630 848	<b>Fugaku</b> Fujitsu A64FX (48 ядер, 2.2 GHz)	Fujitsu (Япония)	Институт физических исследований (Кобе, Япония)	20	15.42	1	16004.5
2	148.6	2 414 592	<b>Summit</b> (IBM Power System AC922) IBM POWER9 (22 ядра, 3.1 GHz) NVIDIA Volta GV100	IBM (США)	Окридская национальная лаборатория (шт. Теннесси, США)	22	14.719	2	2925.75
3	94.64	1 572 480	<b>Sierra</b> (IBM Power System AC922) IBM POWER9 (22 ядра, 3.1 GHz) NVIDIA Volta GV100	IBM (США)	Ливерморская национальная лаборатория им. Э. Лоуренса (шт. Калифорния, США)	26	12.723	4	1795.67
4	93.0146	10 649 600	<b>Sunway TaihuLight</b> Sunway SW26010 (260 ядер, 1.45 GHz)	NRCPC (Китай)	Национальный суперкомпьютерный центр (Уси, Китай)	48	6.051	16	480.848
5	64.59	706 304	<b>Perlmutter</b> (HPC Cray EX235n "Shasta") AMD EPYC 7763 (64 ядра, 2.45 GHz) NVIDIA A100	HPE+Cray (США)	Национальный вычислительный центр энергетических исследований (шт. Калифорния, США)	6	25.55	3	1905.44
6	63.46	555 520	<b>Selene</b> (NVIDIA DGX A100 Super-POD) AMD EPYC 7742 (64 ядра, 2.25 GHz) NVIDIA A100	NVIDIA (США)	NVIDIA (США)	11	23.98	5	1622.51
7	61.4445	4 981 760	<b>Tianhe-2A</b> (TH-1VB-FEP) Intel Xeon E5-2692v2 (12 ядер, 2.2 GHz) Matrix-2000	NUDT (Китай)	Национальный суперкомпьютерный центр (Гуанчжоу, Китай)	102	3.325	-	-
8	44.120	449 280	<b>JUWELS Booster Module</b> (Bull Sequana XH2000) AMD EPYC 7402 (24 ядра, 2.8 GHz) NVIDIA A100	Atos (Франция)	Исследовательский центр (Юлих, Германия)	7	25.01	6	1275.36
9	35.45	669 760	<b>HPC5</b> (Dell PowerEdge C4140) Intel Xeon Gold 6252 (24 ядра, 2.2 GHz) NVIDIA Tesla V100	Dell (США)	Eni (Италия)	19	15.740	8	860.32
10	23.5164	448 448	<b>Frontera</b> (Dell PowerEdge C6420) Intel Xeon Platinum 8280 (28 ядер, 2.7 GHz)	Dell (США)	Техасский центр передовых компьютерных технологий (Остин, шт. Техас, США)	-	-	-	-
* High-Performance Conjugate Gradient Benchmark – новый метод сравнительного тестирования HPC-систем									

что в июне 2020 года (55-й список) рекордные значения этих параметров у лидера были следующими: 415.53 Pflops и 513.8547 Pflops.

Вычислительная эффективность *Fugaku* составляет 82%, а энергоэффективность (15.42 Gflops/W) соответствует 20-му месту в рейтинге *Green500*.

Лидер новейшего 57-го списка, японский суперкомпьютер *Fugaku*, полгода назад (56-й список) обновил свой же рекорд по реальному быстродействию – 442.01 Pflops. Эта система пока является единственной в мире, у которой пиковое быстродействие превышает полуэксафлопсный рубеж: 537.212 Pflops.

Напомним, что впервые рекордсменом мирового суперкомпьютеростроения является система на базе процессоров, поддерживающих систему команд ARM – 64-разрядный процессор *Fujitsu A64FX* имеет 48 вычислительных ядер.

Общее число вычислительных ядер супервычислителя-рекордсмена *Fugaku* достигло 7 630 848, а общее число процессоров *Fujitsu A64FX* исчисляется внушительной величиной в 158 976 штук.

Супервычислитель-рекордсмен *Fugaku* построен на 48-ядерных ARM-процессорах *Fujitsu A64FX* в количестве 158 976 штук и имеет в общей сложности 7 630 848 ядер.

Отметим, что *Fugaku* лидирует в 57-м списке очень уверенно, с солидным отрывом от предыдущего чемпиона – американской системы *Summit*, возглавлявшей рейтинг *Top500*, начиная с 51-го списка:

- по реальной производительности – в 2.97 раза;
- по пиковой производительности – в 2.68 раза.

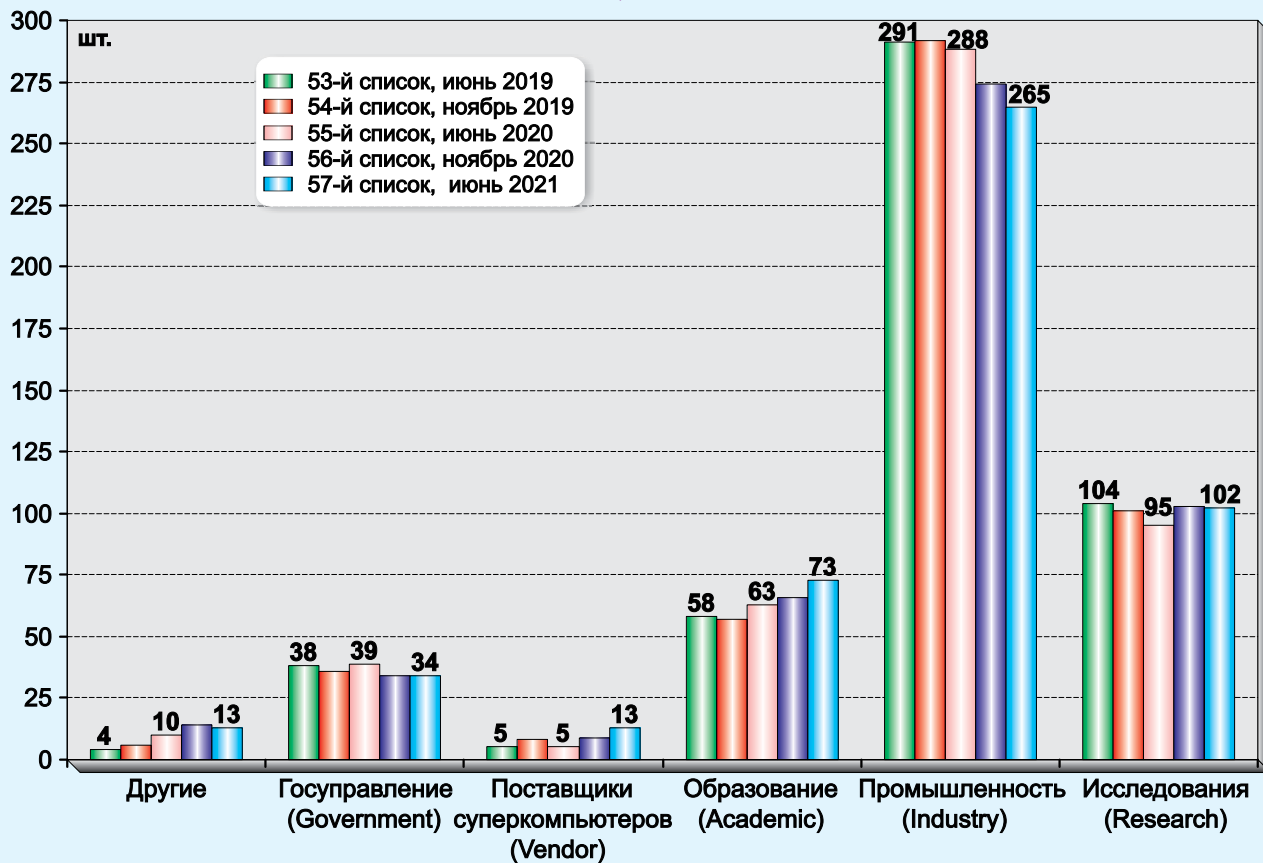
### 2.2 Горячая десятка

За прошедший год в горячей десятке *Top500* появились два новых имени (выделены в табл. 1 голубым фоном):

- на 5-м месте – *Perlmutter* (впервые – в новейшем, 57-м списке);
- на 8-м месте – *JUWELS Booster Module* (впервые – в прошлом, 56-м списке).

Кроме того, у двух систем (выделены светло-зеленым фоном) увеличилась производительность (зафиксировано в прошлом, 56-м списке):

*Implementation segments of supercomputers: amount of systems, listed in Top500 (2019–2021, 53<sup>rd</sup>–57<sup>th</sup> lists)*



*Рис. 1. Области применения суперкомпьютеров в период 2019–2021 гг.: количество систем, включенных в Top500 (списки №№53–57)*

- *Fugaku* (на 1-м месте);
- *Selene* (на 6-м месте).

Остальные шесть “горячих агрегатов” носят знакомые имена: *Summit* (2-е место), *Sierra* (3-е место), *Sunway TaihuLight* (4-е место), *Tianhe-2A* (7-е место), *HPC5* (9-е место) и *Frontera* (10-е место).

Для лучшего понимания всей картины предлагаем читателям обращать внимание на позицию суперкомпьютера не только в *Top500*, но и в рейтинге энергоэффективности **Green500**, а также в рейтинге **HPCG**, который стал составной частью *Top500* в 49-м списке (эти позиции указаны в табл. 1).

*High-Performance Conjugate Gradient Benchmark* – это новый метод сравнительного тестирования HPC-систем, учитывающий тот факт, что многие современные задачи требуют решения дифференциальных уравнений и обработки больших массивов данных с применением эффективных технологий из арсенала параллельного программирования. Показатели производительности суперкомпьютеров на тесте *HPCG* выглядят куда более скромно – в десятки раз меньше.

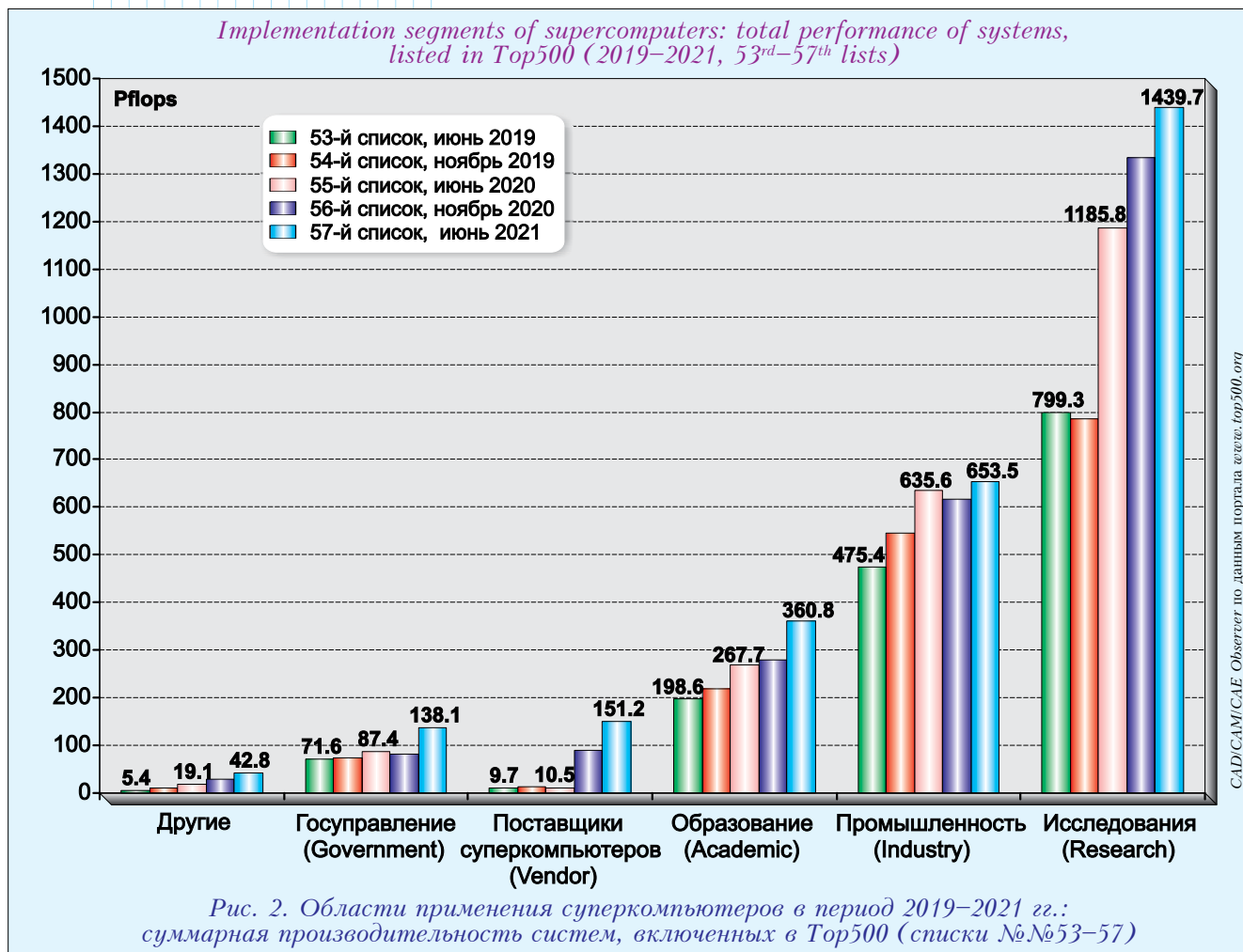
### 2.3 Былые рекордсмены еще в строю

Краткая характеристика прежних систем-победителей, попавших и в первую десятку 57-го списка *Top500*:

- американский суперкомпьютер **Summit**, лидер четырех списков (№№51÷54), демонстрирует реальную производительность 148.6 *Pflops*, пиковую – 200.795 *Pflops*; вычислительная эффективность – 74%. Лидер *Figaku* работает быстрее *Summit* в 2.97 раза;

- китайский суперкомпьютер **Sunway Taihu-Light**, лидер четырех списков (№№47÷50), имеет реальную производительность 93.01 *Pflops*, пиковую – 125.44 *Pflops*; вычислительная эффективность – 74.15%. По сравнению с лидером, он работает медленнее в 4.75 раза;

- китайский суперкомпьютер **Tianhe-2** (на английском языке называется *Milky Way-2*), лидер шести списков (№№41÷46), тогда демонстрировал реальную производительность 33.8627 *Pflops*, пиковую – 54.9024 *Pflops*, вычислительную эффективность – 61.68%. После модернизации, задокументированной в 51-м списке (сопроцессоры *Xeon Phi* заменены на *Matrix-2000* китайской разработки), этот аппарат под именем **Tianhe-2A**



стал считать почти вдвое быстрее: реальная производительность – 61.4445 Pflops, пиковая – 100.6787 Pflops, вычислительная эффективность – 61.03%. Система *Figaku* обгоняет *Tianhe-2A* в 7.19 раза.

Напомним, что в начале 2020 года были демонтированы суперкомпьютеры *Sequoia* и *Titan*, лидеры 39-го и 40-го списков соответственно.

#### 2.4 Лучшие производители лучших систем

Среди производителей лидирующих суперкомпьютеров, которые вошли в первую десятку 57-го списка, места распределились следующим образом:

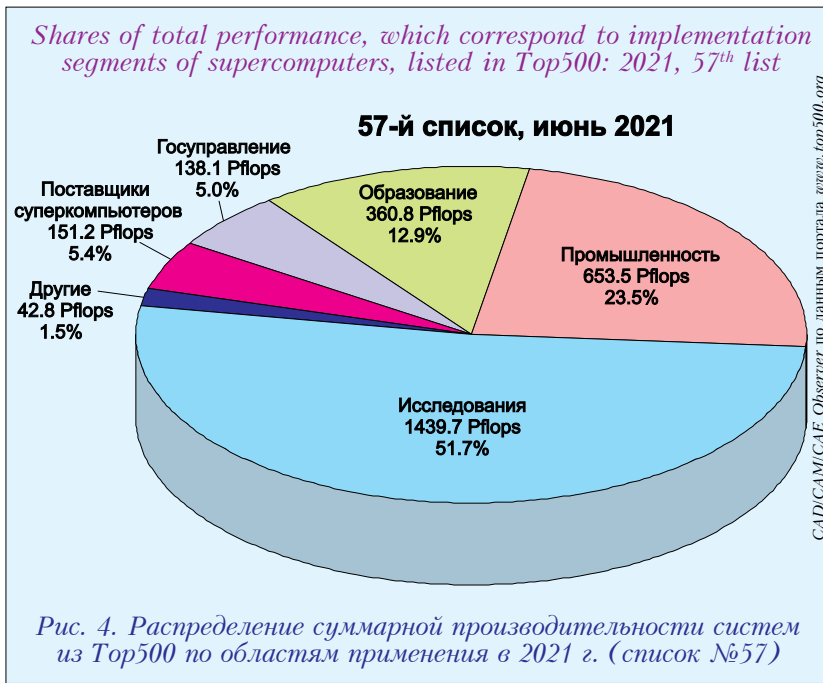
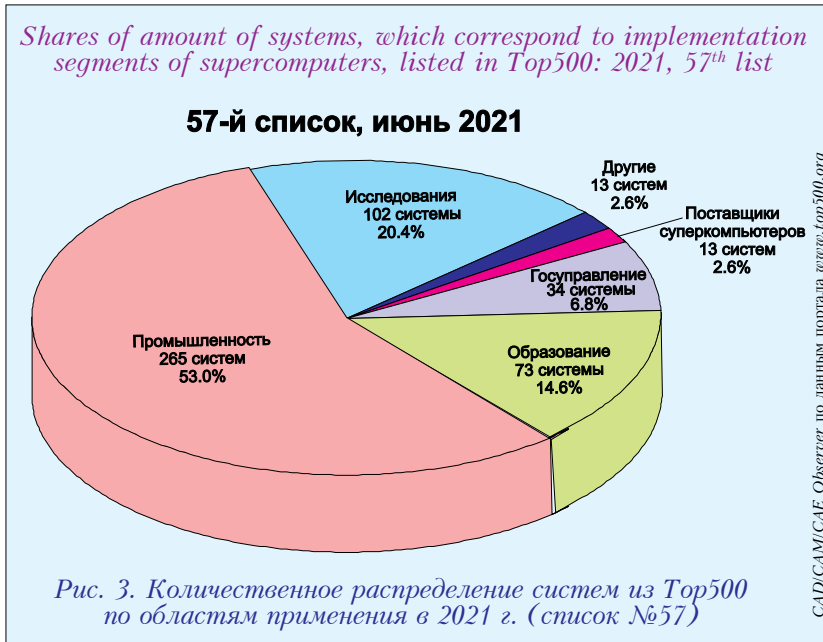
- 1 *Fujitsu*, Япония – одна система с производительностью 442.01 Pflops;
- 2 *IBM*, США – две системы с общей производительностью 243.24 Pflops;
- 3 *NRCPC*, Китай – одна система с производительностью 93.01459 Pflops;
- 4 *HPE (Cray)*, США – одна система с производительностью 64.59 Pflops;
- 5 *NVIDIA*, США – одна система с производительностью 63.46 Pflops;
- 6 Национальный университет оборонных технологий (*National University of Defense Technology*), Китай – одна система с производительностью 61.4445 Pflops;

- 7 *Dell Technology*, США – две системы с общей производительностью 58.9664 Pflops;
- 8 *Atos*, Франция – одна система с производительностью 44.12 Pflops.

Компания *Fujitsu* – лидирующий разработчик вычислительных систем из первой десятки *Top500*. Производительность её детища, рекордсмена 57-го списка, составляет 442.01 Pflops.

Среди юрисдикций производителей лидирующих суперкомпьютеров, которые вошли в первую десятку 57-го списка, места распределились следующим образом:

- 1 Япония – 442.01 Pflops, 1 система;
- 2 США – 430.2564 Pflops, 6 систем;
- 3 Китай – 154.45909 Pflops, 2 системы;
- 4 Франция – 44.12 Pflops, 1 система.



### 3. Области применения систем ВВП

Как и прежде, наибольшее количество суперкомпьютеров из *Top500* работает в промышленности (*Industry*): в 57-м списке таких насчитывается 265 (53% от общего числа). В научные исследования (*Research*) вовлечены 102 системы (20.4%), а в сферу образования (*Academic*) – 73 системы или 14.6% (рис. 1, 3).

Год назад, в 55-м списке, супервычислители распределялись так: промышленность – 288 систем (57.6%); исследования – 95 систем (19%), образование – 63 системы (12.6%). Два года назад, в 53-м списке, распределение было таким: промышленность – 291 система (58.2%); исследования – 104 системы (20.8%), образование – 58 систем (11.6%).

По суммарной производительности в 57-м списке впереди идут суперкомпьютеры для науки – 1439.7 Pflops (51.7% от общей производительности всех систем, включенных в рейтинг). На промышленность работает совокупная вычислительная мощность 653.5 Pflops (23.5%), а на образование – 360.8 Pflops или 12.9% (рис. 2, 4).

Наблюдается значительный рост по сравнению с показателями годовой давности, которые зафиксировал 55-й список: суммарная производительность суперкомпьютеров для науки тогда составляла 1185.8 Pflops (53.8% от общей), для промышленности – 635.6 Pflops (28.8%), для образования – 267.7 Pflops (12.1%).

Остальные области применения не столь велики – как по числу инсталляций систем ВПВ, так и по суммарной производительности. Сюда относят суперкомпьютеры, являющиеся объектом экспериментов, которые проводят их разработчики (Vendors), а также используемые для задач государственного управления (Government).

#### 4. Региональный срез рейтинга Top500

Подготовленная нами региональная “табель о рангах” позволяет препарировать состояние дел в США, Китае, Японии, Евросоюзе и России. Данные за два последних года (списки

№№53÷57 рейтинга Top500) наглядно отображены на диаграммах (рис. 5÷10).

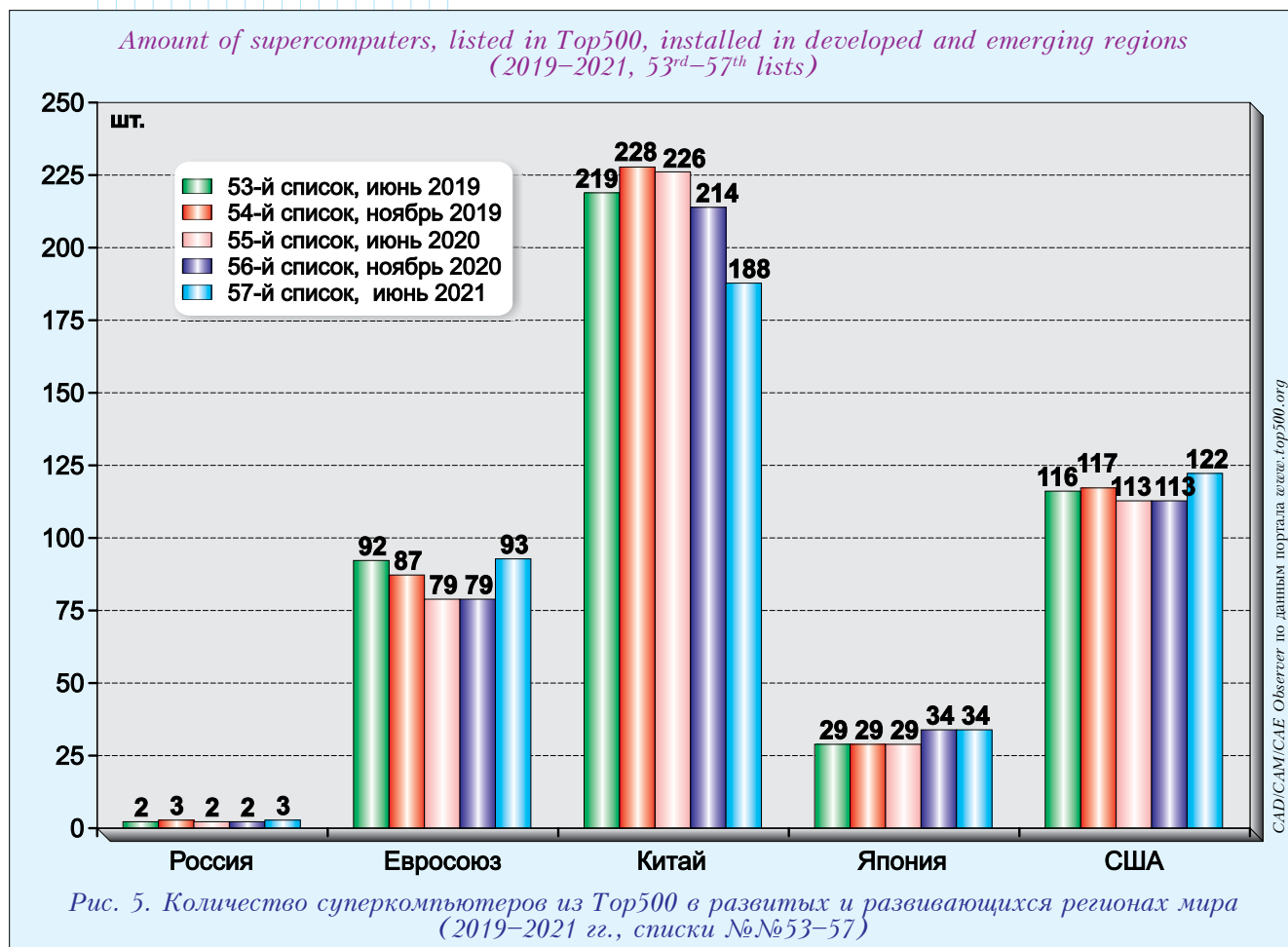
На диаграммах (рис. 7, 8), созданных для последних пяти лет (списки №№48÷57), можно проследить тенденции в развитии регионов, уже построивших супервычислители петафлопсного класса и имеющих амбиции пересечь эксафлопсный рубеж.

#### 4.1 США

По состоянию на июнь 2021 года (57-й список), в США инсталлировано 122 суперкомпьютера уровня Top500 (то есть 24.4% от 500), что на 9 больше, чем полгода назад: в ноябре 2020 года (56-й список) таковых было 113 (22.6%). Год назад, в июне 2020 года (55-й список), в рейтинг попало так же 113 (22.6%) американских суперкомпьютеров.

Уже в восьми списках подряд (№№50÷57) этот показатель отстает от китайского, что заставляет США довольствоваться вторым местом по числу суперсистем.

В июне 2021 года суммарная производительность суперкомпьютеров, инсталлированных в США, достигла 854.4 Pflops; за год этот показатель вырос с 621.7 Pflops на +37.4%. При этом их доля в общей производительности Top500 за год



увеличилась с 28.2% до 30.7%. По показателю суммарной производительности США уже в семи списках подряд (№№51÷57) обходят Китай и занимают первое место.

По суммарной производительности инсталлированных суперсистем 1-е место в мире принадлежит США. За год этот показатель у них вырос с 621.7 до 854.4 Pflaps (+37.4%).

#### 4.2 Япония

За последний год (списки №№56,57) число инсталлированных в Стране Восходящего Солнца систем, которые по своим параметрам проходят в Top500, выросло на 5 и составило 34 суперкомпьютера (6.8% от общего количества). До этого в трех списках №№53÷55 число японских систем было неизменным и составляло 29 единиц (5.8% от общего количества).

В новейшем 57-м списке по величине суммарной производительности Япония поднялась на второе место – 631 Pflaps (22.6% от общей). Годом ранее, в 55-м списке суммарная производительность соответствовала третьему месту – 527.6 Pflaps (23.9% от общей). На тот момент,

благодаря введению в эксплуатацию системы *Fugaku*, занявшей и сохранившей до сих пор позицию лидера Top500, суммарная производительность совершила скачок, увеличившись в 4.5 раза по сравнению с 53-м списком (117.2 Pflaps или 7.5% от общей).

Ранее, в четырнадцати предыдущих списках (с 41-го по 54-й), Япония по величине суммарной производительности занимала лишь 4-е место.

Напомним, что на 2-й позиции эта страна находилась в июне и ноябре 2011 года – с показателями 11.2 Pflaps (19% от общей) и 14.2 Pflaps (19.2% от общей) соответственно, что было достигнуто благодаря вычислительной мощи рекордсмена списков №37 и №38 – *K computer*; однако уже в списке №51 бывлой лидер оказался за пределами горячей десятки.

#### 4.3 Китай

В июне 2021 года (57-й список) количество суперсистем, инсталлированных в Китае, составило 188 – то есть 37.6% от всего числа включенных в Top500. Год назад (55-й список) этот показатель был выше – 226 систем или 45.2%. Таким образом, Китай остается лидером по количеству систем в Top500.

Total performance of supercomputers, listed in Top500, installed in developed and emerging regions (2019–2021, 53<sup>rd</sup>–57<sup>th</sup> lists)

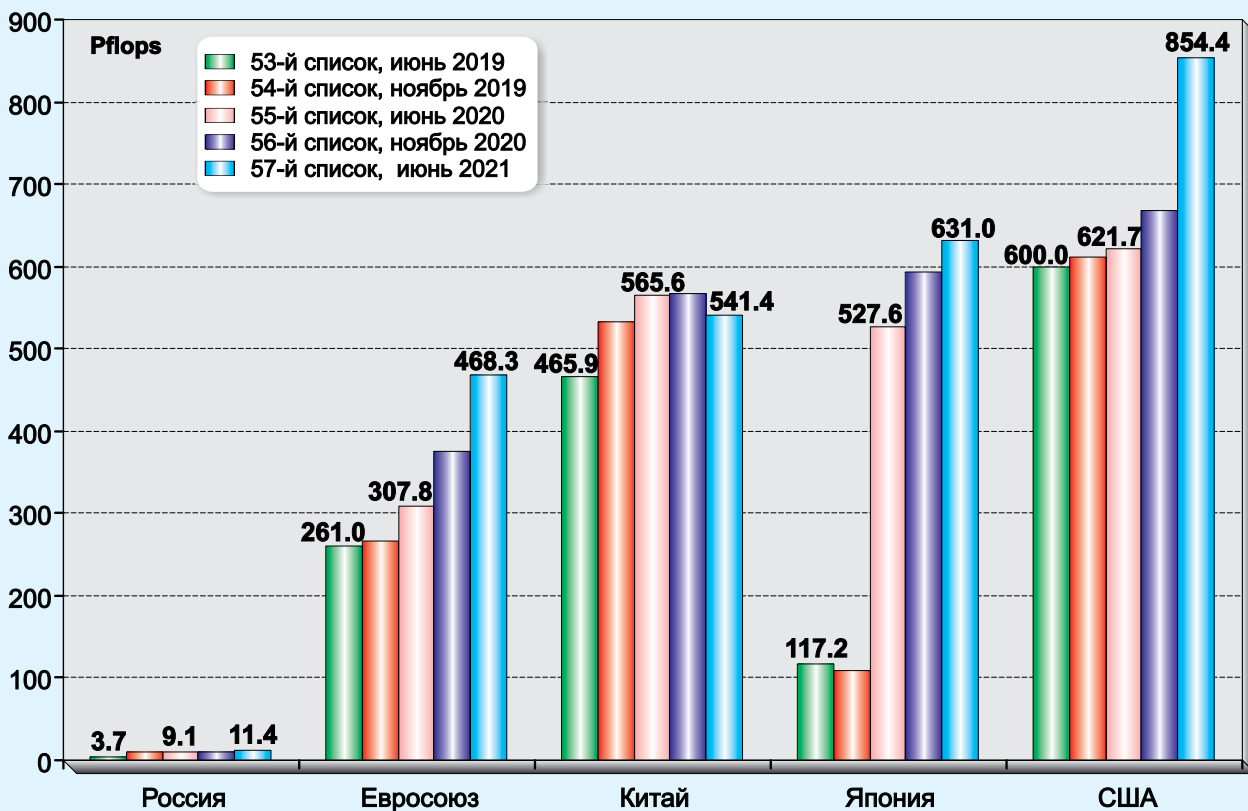


Рис. 6. Суммарная производительность суперкомпьютеров из Top500 в развитых и развивающихся регионах мира (2019–2021 гг., списки №№53–57)

Regional shares of amount of supercomputers for 2016–2021 (Top500, 48<sup>th</sup>–57<sup>th</sup> lists)

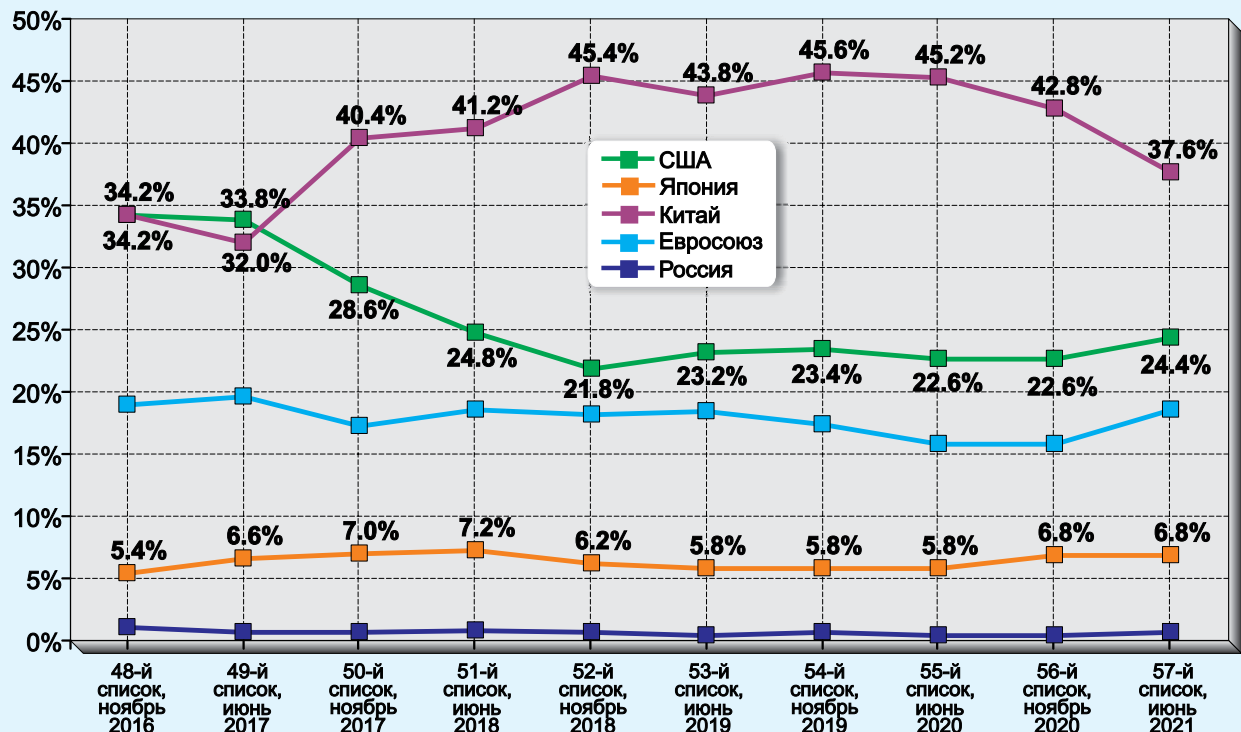


Рис. 7. Изменение региональных долей от общего количества суперкомпьютеров из Top500 в период 2016–2021 гг. (списки №№48–57)

Regional shares of total performance of supercomputers for 2016–2021 (Top500, 48<sup>th</sup>–57<sup>th</sup> lists)

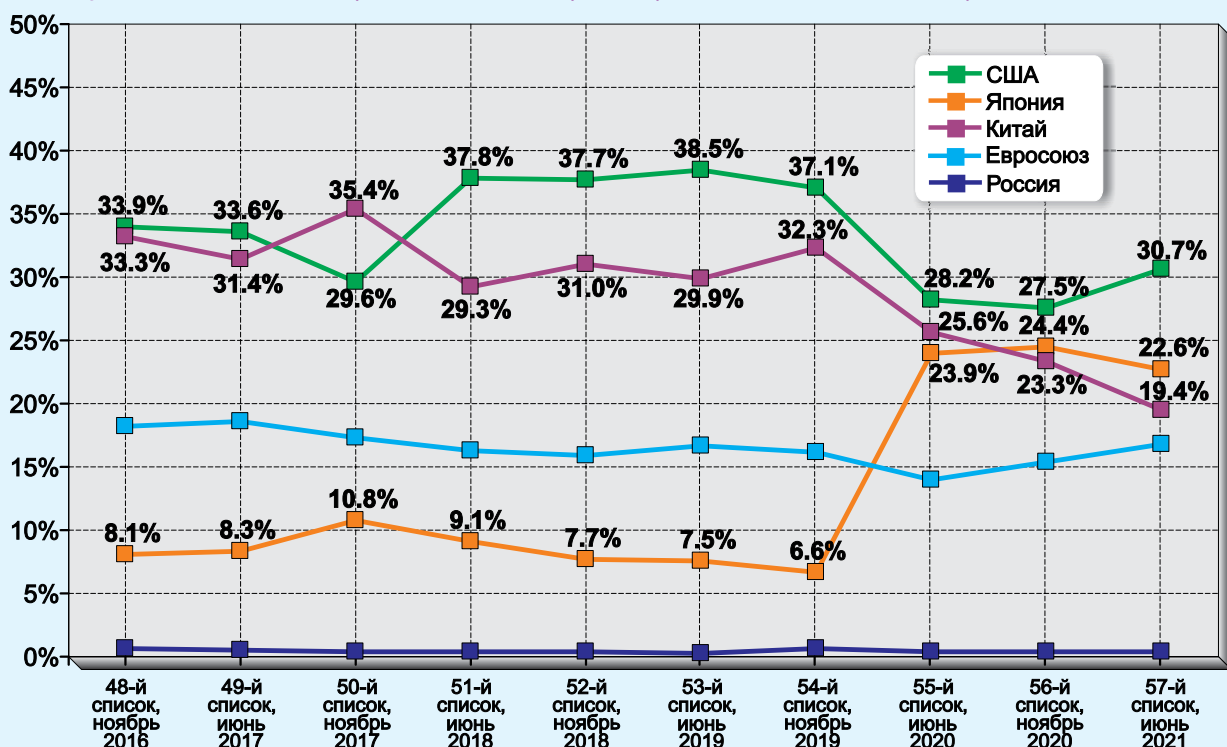


Рис. 8. Изменение региональных долей от суммарной производительности суперкомпьютеров из Top500 в период 2016–2021 гг. (списки №№48–57)



Лидером по количеству установленных систем остается Китай: в июне 2021 г. количество китайских систем в *Top500* составило 188 (37.6%).

По суммарной производительности топовых суперкомпьютеров в 57-м списке (541.4 *Pflops* или 19.4% от общей) Китай находится на 3-м месте.

Год назад Китай находится на 2-м месте, а суммарная производительность за год уменьшилась на -4.3% (в 55-м списке – 565.5 *Pflops* или 25.6% от общей).

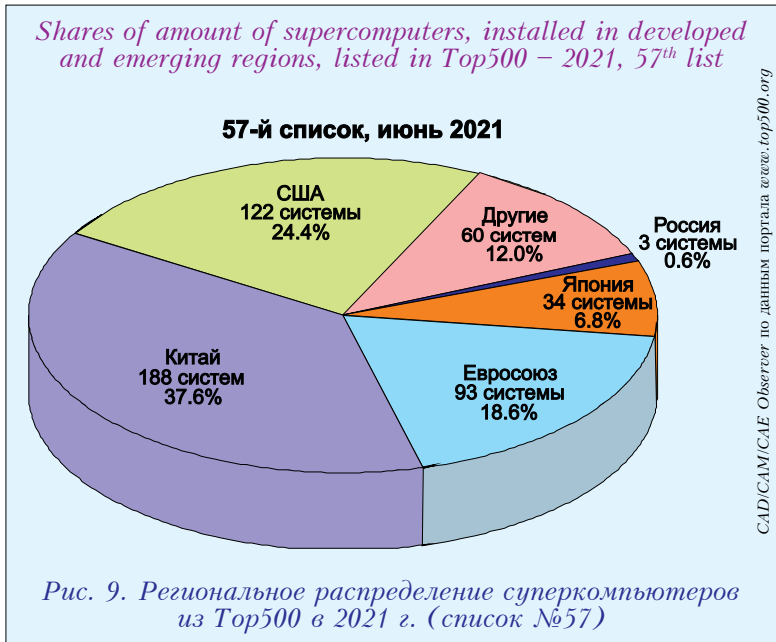


Рис. 9. Региональное распределение суперкомпьютеров из *Top500* в 2021 г. (список №57)

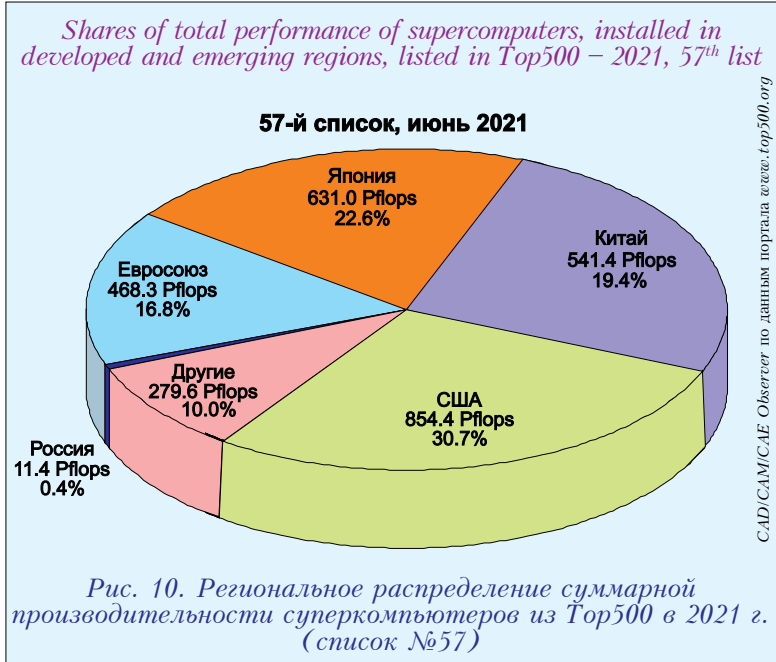


Рис. 10. Региональное распределение суммарной производительности суперкомпьютеров из *Top500* в 2021 г. (список №57)

#### 4.4 Евросоюз

Общее число систем из стран ЕС в списке №57 в июне 2021 года достигло 93, то есть 18.6% от всего числа суперкомпьютеров уровня *Top500*. При этом за год оно увеличилось на 14 агрегатов: в июне 2020 года таких систем было 79 (15.8%).

Суммарная производительность этих 93-х систем составляет 468.3 *Pflops* – то есть, 16.8% от общего значения для *Top500*. За год этот показатель увеличился на +52.1% – с 307.8 *Pflops* (14% от общего значения).

Таким образом, ЕС по числу систем находится на 3-м месте, а по их суммарной производительности – на 4-м.

Два первых места в Евросоюзе в июне 2021 года занимают:

- 1 Франция – 87.8 *Pflops*, 16 систем;
- 2 Германия – 168.8 *Pflops*, 23 системы.

На долю этих двух стран сегодня приходится 41.9% суперкомпьютеров из *Top500*, расположенных на территории ЕС, и 54.8% их суммарной производительности.

Покинувшая ЕС Великобритания обладает 11 системами с суммарной производительностью 35.3 *Pflops*.

Год назад, в июне 2020-го, два первых места в Евросоюзе занимали те же двое:

- 1 Франция – 79.9 *Pflops*, 19 систем;
- 2 Германия – 68.7 *Pflops*, 16 систем.

На долю этих двух стран тогда приходилось 44.3% суперкомпьютеров из *Top500*, расположенных на территории ЕС, и 48.3% их суммарной производительности.

Великобритания обладала 10 системами с суммарной производительностью 30.95 *Pflops*.

Два года назад, в июне 2019-го, три первых места в Евросоюзе занимали:

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

Отметим, что в 57-й список *Top500* попали супервычислители 14-ти стран Евросоюза (всего членами ЕС являются 27 стран). Отметим, что год назад в 55-й список *Top500* попали суперкомпьютеры 11-ти стран ЕС, а два года назад (до завершения процесса *Brexit*) такого успеха смогли достичь 13 из 28-ми членов ЕС.

#### 4.5 Россия

Российская Федерация в 57-м списке *Top500* представлена тремя системами (0.6% от общего числа в *Top500*) с суммарной производительностью 11.4 *Pflops* (0.4% от общего значения в *Top500*).

Год назад в списке №55 были представлены две системы (0.4% от 500) с суммарной производительностью 9.1 *Pflops*

**Табл. 2. Лидеры российского суперкомпьютерного рейтинга Top50 в марте 2021 г., включенные также в мировой рейтинг Top500 в июне 2021 г.**

Место в российском рейтинге Top50 (34-й список)	Место в международном рейтинге Top500 (57-й список)	Производительность, Pflops		Общее число процессорных ядер	Название компьютера, архитектура, применяемые процессоры и ускорители	Компания-производитель	Организация, где установлен суперкомпьютер
		реальная	пиковая				
1	62	6.669	8.790	99 600	<b>Кристофари</b> (NVIDIA DGX-2) Intel Xeon Platinum 8168 (24 ядра, 2.7 GHz) NVIDIA Tesla V100	NVIDIA (США), а также SberCloud (Россия) (её участие отмечено только в российском Top50)	SberCloud (ООО “Облачные технологии”), СберБанк, Москва
2	200	2.478	4.947	64 384	<b>Ломоносов-2</b> Intel Xeon E5-2697v3 (14 ядра, 2.6 GHz) Intel Xeon Gold 6126 NVIDIA Tesla K40M / P100	T-Платформы (Россия)	Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
–	241	2.258	3.01184	19 840	<b>MTS GROM</b> (NVIDIA DGX A100) AMD EPYC 7742 (64 ядра, 2.25 GHz) NVIDIA A100	NVIDIA (США)	#CloudMTS

(0.4%), а два года назад в списке №53 также были представлены две системы с суммарной производительностью 3.7 Pflops (0.2%).

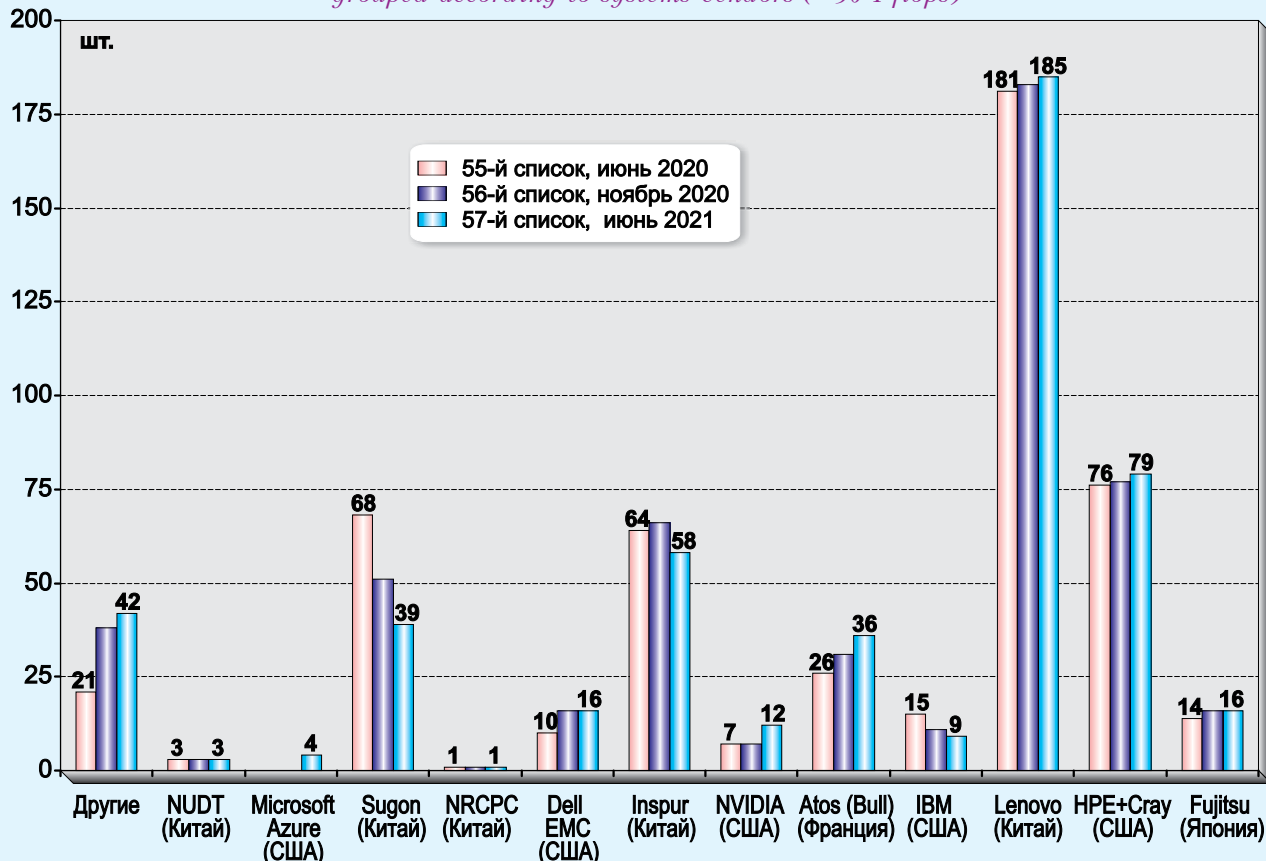
Параметры трех российских петафлопсников (табл. 2):

- На 62-е место вышел суперкомпьютер **Кристофари**, установленный в Сбербанке

(реальная производительность – 6.669 Pflops, пиковая – 8.79 Pflops, вычислительная эффективность – 75.9%). Эта система построена американской компанией **NVIDIA**. Отставание от *Fugaku* по реальной производительности составляет 66.3 раза.

- На 200-м месте находится суперкомпьютер **T-Platform A-Class Cluster** под названием

*Amount of supercomputers, listed in Top500 (2020–2021, 55<sup>th</sup>–57<sup>th</sup> lists), grouped according to systems vendors (>50 Pflops)*



*Рис. 11. Количество суперкомпьютеров, созданных разными производителями (>50 Pflops) в период 2020–2021 гг. (Top500, списки №№55–57)*

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 *Fugaku* в 178.4 раза.

- На 241-м месте находится суперкомпьютер **NVIDIA DGX A100** под названием **MTS GROM**, инсталлированный в #CloudMTS, подразделении компании “МТС” (“Мобильные ТелеСистемы”). Его реальная производительность составляет 2.258 Pflops, пиковая – 3.012 Pflops, вычислительная эффективность – 75%. Эта система построена американской компанией **NVIDIA**. Отставание от *Fugaku* по реальной производительности составляет 195.8 раза.

Напомним, что с новейшими данными суверенного российского рейтинга **Топ50** можно ознакомиться на сайте [top50.supercomputers.ru](http://top50.supercomputers.ru). Отметим, что новейший супервычислитель **MTS GROM** введен в эксплуатацию после 30 марта 2021 года, когда был обнародован 34-й список российского рейтинга.

## 5. Ведущие производители суперкомпьютеров

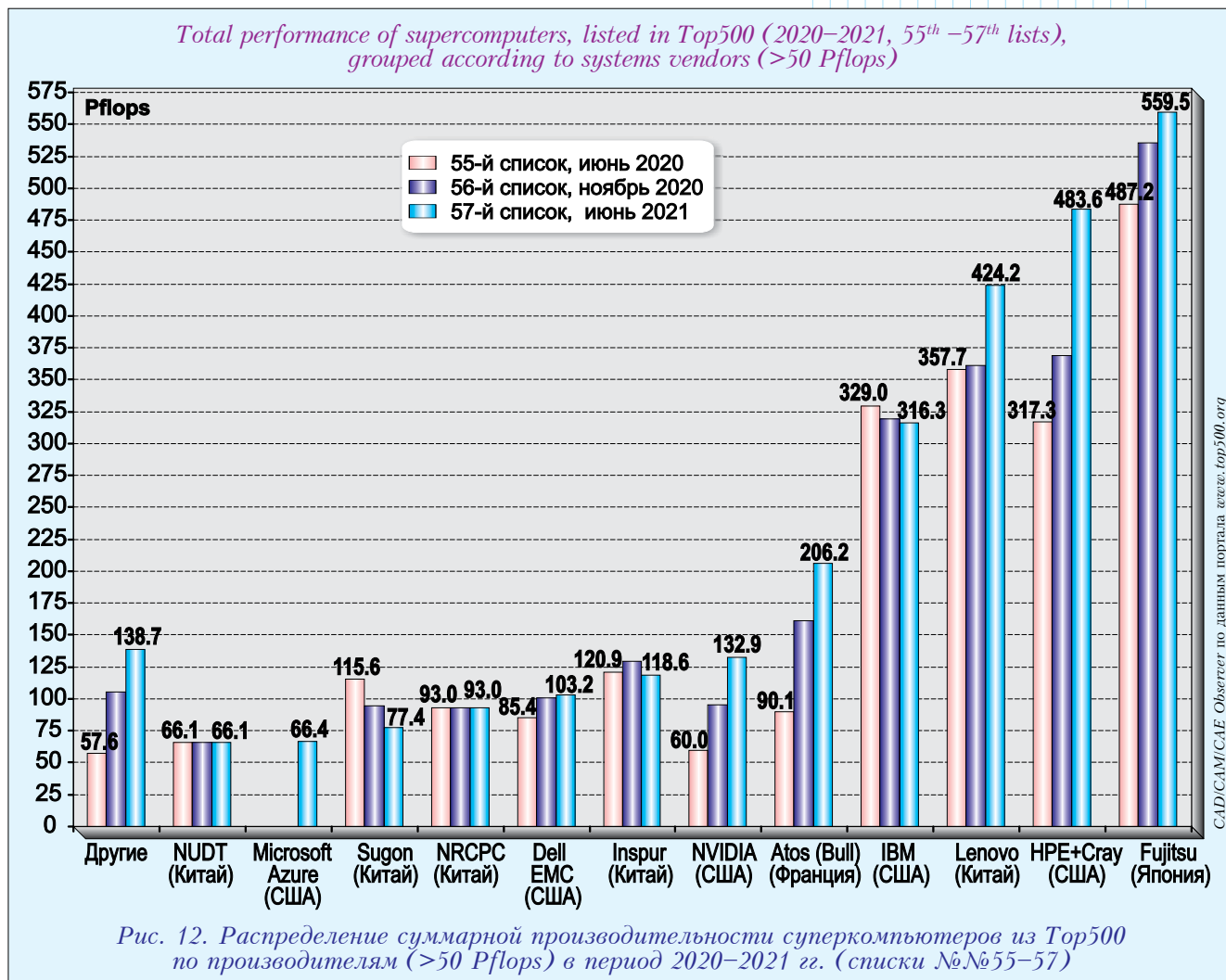
Показатели ведущих производителей суперкомпьютеров из *Top500* представлены на рис. 11, 12. Компании отранжированы в соответствии с суммарной реальной производительностью их систем, набравших проходной балл в *Top500*. При этом те незадачливые производители, суммарная пиковая производительность систем 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*, – *Fujitsu*, *IBM*, *National Research Center of Parallel Computer Engineering & Technology (NRCPC)*, *HPE (Hewlett-Packard Enterprise)* вместе с приобретенной *Cray*), *NVIDIA*, *National University of Defense Technology (NUDT)*, *Atos (Bull)*, *Dell*;

2) участники мирового рынка HPC-систем – *Lenovo*, *Microsoft*;

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



Amount of supercomputers, listed in Top500, 53<sup>rd</sup>–57<sup>th</sup> lists, based on various multicore processors – rise of popularity and the skids for processors with 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22 cores for 2019–2021

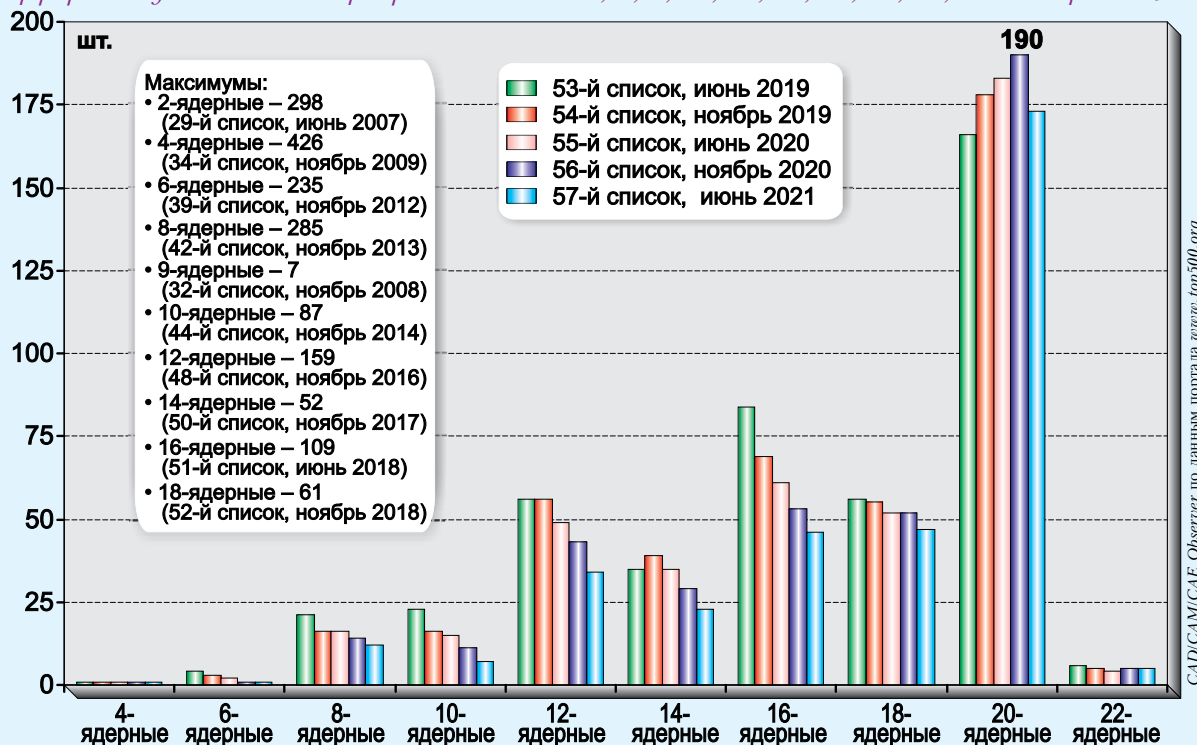


Рис. 13. Рост и падение популярности процессоров с 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22 ядрами в суперкомпьютерах из Top500 в период 2019–2021 гг. (списки №№53–57)

Amount of supercomputers, listed in Top500, 53<sup>rd</sup>–57<sup>th</sup> lists, based on various multicore processors – changes of popularity for processors with 24, 26, 28, 32, 36, 38, 48, 64, 68, 260 cores for 2019–2021

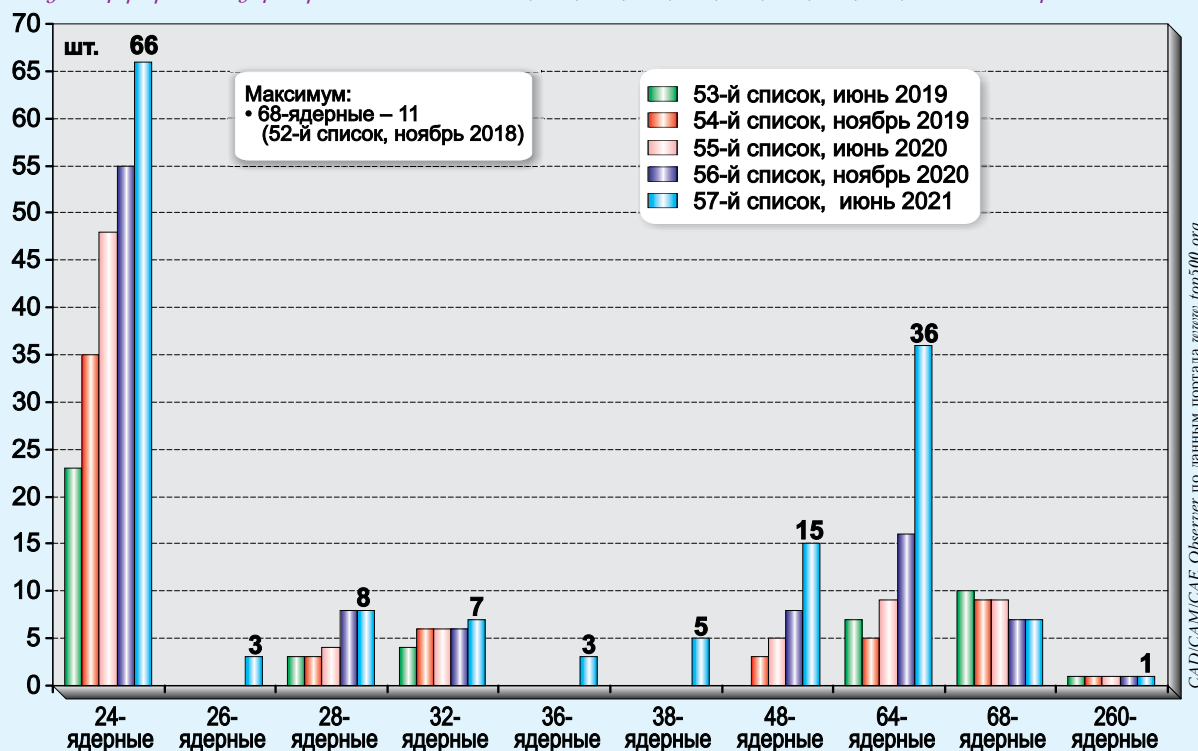


Рис. 14. Изменение популярности процессоров с 24, 26, 28, 32, 36, 38, 48, 64, 68, 260 ядрами в суперкомпьютерах из Top500 в период 2019–2021 гг. (списки №№53–57)

По количеству установленных суперкомпьютеров в 57-м списке лидером является китайская компания *Lenovo*. Её показатели в трех последних списках (июнь и ноябрь 2020 г., июнь 2021 г.) таковы: 181, 183 и 185 систем соответственно (рис. 11).

На 2-м месте располагается американская компания *HPE* со своим подразделением *Cray*, инсталлировавшая 76, 77 и 79 систем соответственно.

На 3-м месте находится китайская же компания *Inspur*, построившая 64, 66 и 58 систем уровня *Top500* – в июне и ноябре 2019 года и в июне 2020-го соответственно.

На 4-м месте обосновалась китайская компания *Sugon*, в активе которой 68, 51 и 39 систем.

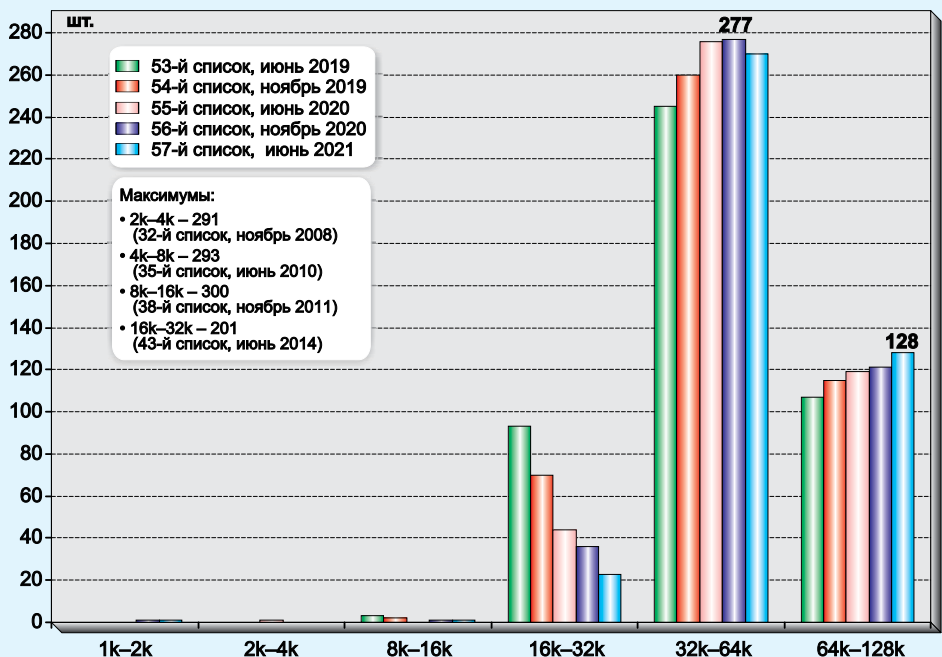
Пятерку замыкает французская компания *Atos*, обладающая брендом *Bull* приобретенной в 2014 году компании. В трех последних списках её показатели выглядят так: 26, 31 и 36 систем соответственно.

Всего лишь на 9-м месте в списке №57 оказалась именитая корпорация *IBM* (напомним, что часть её серверного бизнеса была продана компании *Lenovo*), построившая 15, 11 и 9 систем из пятисот в трех последних списках соответственно.

Лидером по числу построенных суперкомпьютеров уровня *Top500* является китайская компания *Lenovo* – на её счету 185 систем.

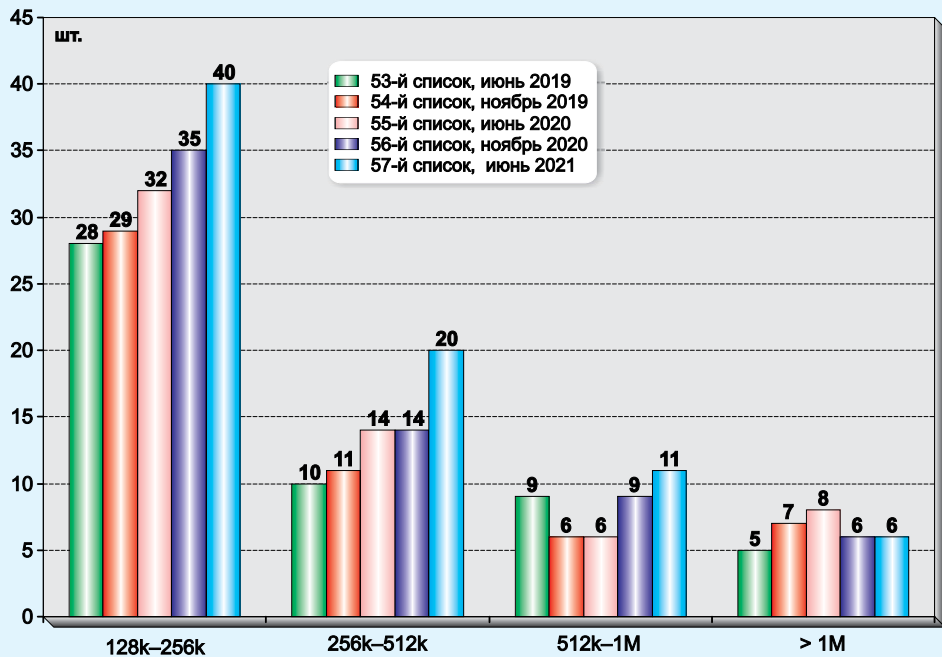
В аспекте суммарной производительности установленных систем ситуация выглядит несколько иначе.

*Amount of supercomputers, listed in Top500 (2019–2021, 53<sup>rd</sup>–57<sup>th</sup> lists), based on definite number of processor cores (< 128k)*



*Рис. 15. Количественное распределение суперкомпьютеров в Top500 (2019–2021 гг., списки №№53–57) в зависимости от числа процессорных ядер (< 128k)*

*Amount of supercomputers, listed in Top500 (2019–2021, 53<sup>rd</sup>–57<sup>th</sup> lists), based on extreme number of processor cores (> 128k)*



*Рис. 16. Количество суперкомпьютеров в Top500 с экстремальным числом процессорных ядер (> 128k) в период 2019–2021 гг. (списки №№53–57)*

Лидером *Top500* по этому показателю в списке №57 стала компания *Fujitsu* (рис. 12), в активе которой – система *Fugaku*, возглавляющая мировой рейтинг. В июне и ноябре 2020 года и в июне 2021-го этот важнейший показатель у *Fujitsu* имел значения 487.2, 535.1 и 559.5 *Pflops* соответственно.

На вторую позицию в списках №№56, 57 вышла американская компания *HPE* со своим подразделением *Cray*. В трех последних списках суммарные показатели объединенной компании имели значения 317.3, 368.6 и 483.6 *Pflops* соответственно.

На третью позицию в списках №№56, 57 опустилась компания *Lenovo*. В июне и ноябре 2020 года и в июне 2021-го её суммарные показатели были следующими: 357.7, 360.9 и 424.2 *Pflops* соответственно.

На четвертую ступеньку в списках №№56, 57 съехала компания *IBM* со своим недавним чемпионом – системой *Summit*. В июне и ноябре 2020 года и в июне 2021-го показатели *IBM* были следующими: 329.0, 319.2 и 316.3 *Pflops* соответственно.

На пятое место по суммарной производительности в списках №№56, 57 впервые поднялась французская компания *Atos* (*Bull*). В июне и ноябре 2020 года и в июне 2021-го показатели *Atos* были следующими: 90.1, 161.2 и 206.2 *Pflops*.

Лидером по суммарной производительности систем в *Top500* сегодня является японская компания *Fujitsu* с показателем 559.5 *Pflops*.

## 6. 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 пришелся 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 оказались 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 новейшем 57-м списке наиболее востребованными являются 20-ядерные процессоры – на их базе построены 173 системы. Пик их популярности пока приходится на 56-й список – 190 систем.

Amount of supercomputers, listed in Top500 (2020–2021, 55<sup>th</sup>–57<sup>th</sup> lists), with hybrid architecture based on definite number of co-processor and graphic processor (GPU) cores

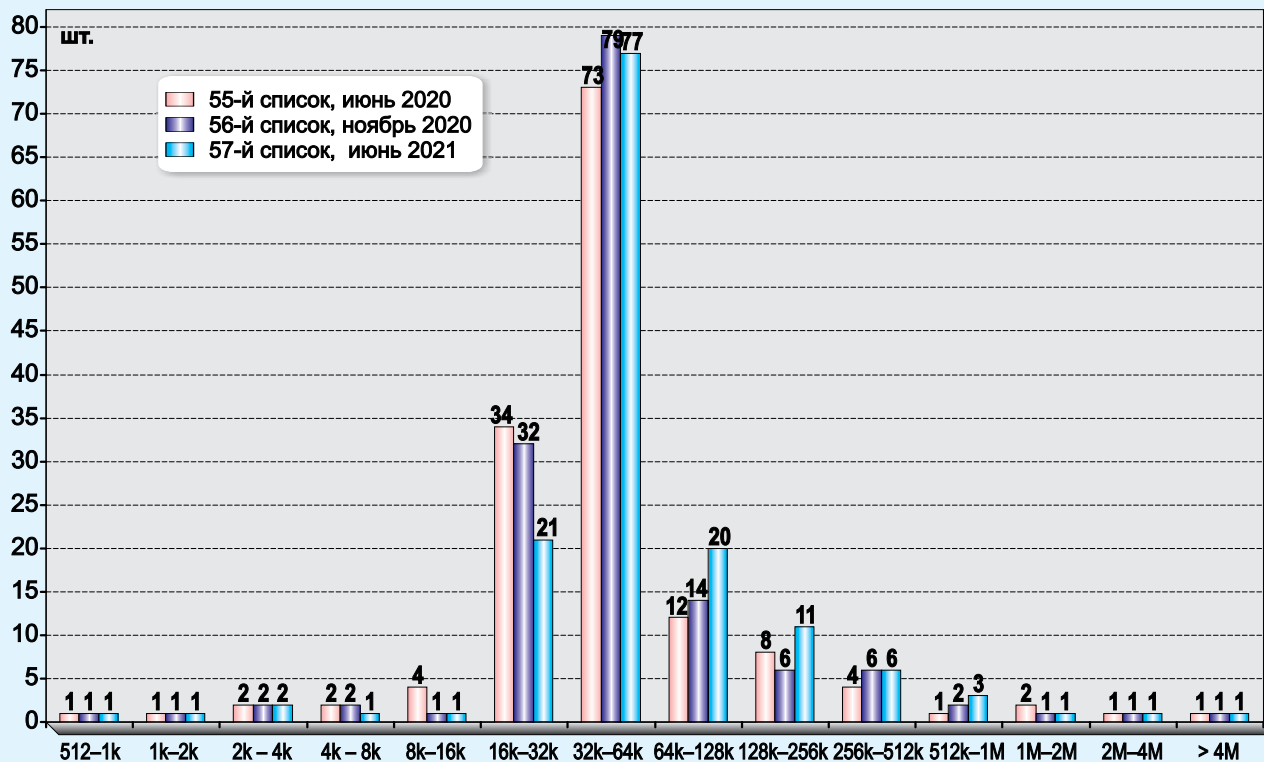


Рис. 17. Количественное распределение входящих в *Top500* суперкомпьютеров с гибридной архитектурой в зависимости от числа ядер в сопроцессорах и графических процессорах (2020–2021 гг., списки №№55–57)

Наибольшей популярностью при создании суперкомпьютеров, включенных в 57-й список *Top500*, пользовались 20-ядерные процессоры: на их базе построены 173 системы.

Число суперкомпьютеров на базе 24-ядерных процессоров в списке №57 возросло до 66. Восемь систем построены на 28-ядерных процессорах, семь систем – на базе 32-ядерных процессоров, 15 систем – на базе 48-ядерных процессоров, 36 систем – на базе 64-ядерных процессоров. Наиболее популярными 68-ядерные процессоры оказались в 51-м списке (11 систем).

В списке №57 появились системы на основе 26-, 36- и 38-ядерных процессоров – в количестве 3, 3 и 5 соответственно.

Кроме того, в последних одиннадцати списках (с 47-го по 57-й) выделяется одна система, при создании 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 57-м списке таких систем оказалось 270. На втором месте по популярности сейчас находятся системы с количеством ядер в пределах от 64k до 128k (128 систем), а на третьем месте – с числом ядер от 128k до 256k (40 систем) (рис. 16).

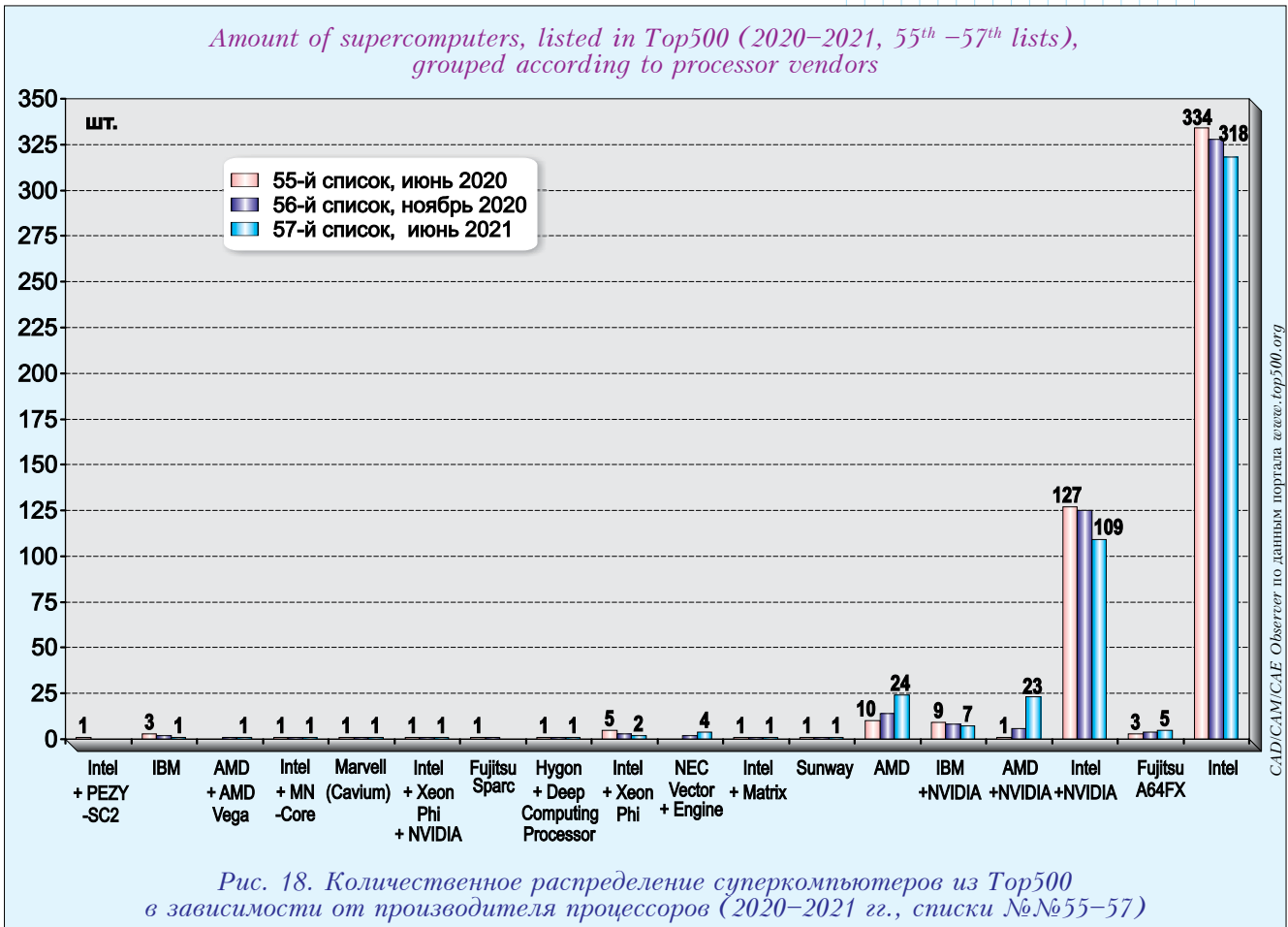
Надо отметить, что суперкомпьютеры с рекордными характеристиками содержат значительно больше вычислительных ядер – их количество превышает 256k. Общее число таких вычислителей в 57-м списке достигло 37.

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

Второе место, начиная с 55-го списка, занимает нынешний чемпион *Fugaku*: общее число его процессорных ядер на тот момент составляло 7 299 072 или 6.96M, а в списках №№56,57 – приросло до величины 7 630 848 или 7.28M.

Другие супервычислители-миллионщики:

- *Tianhe-2A* – 4 981 760 ядер (4.75M). До модернизации этот суперкомпьютер назывался просто *Tianhe-2* и возглавлял списки №№41÷46, имея 3 120 000 ядер (2.98M);



- *Summit*, лидер списков №№51÷54 – 2 414 592 ядра (2.3M), а до модернизации и настройки – 2 282 544 ядра (2.18M);

- *ThinkSystem SR590* с 2 312 800 ядрами (2.21M) – система, занявшая в 57-м списке 354-е место (разработчик – китайская компания *Lenovo*);

- *Sierra* – 1 572 480 ядер (1.5M).

Отметим, что три из шести названных систем являются гибридными.

## 7. Суперкомпьютеры с гибридной архитектурой

В текущем, 57-м списке *Top500* насчитывается 147 систем с гибридной архитектурой, а их доля составляет 29.4%. Наибольшее количество таких систем зафиксировано в 56-м списке – всего 149 или 29.8%. Год назад, в 55-м списке, насчитывалось 146 гибридных систем (29.2%).

Число суперкомпьютеров с гибридной архитектурой составляет 147 – это 29.4% 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 семь гибридных систем: *Summit* (2-е место), *Sierra* (3-е место), *Perlmutter* (5-е место), *Selene* (6-е место), *Tianhe-2A* (7-е место), *JUWELS Booster Module* (8-е место), *HPC5* (9-е место).

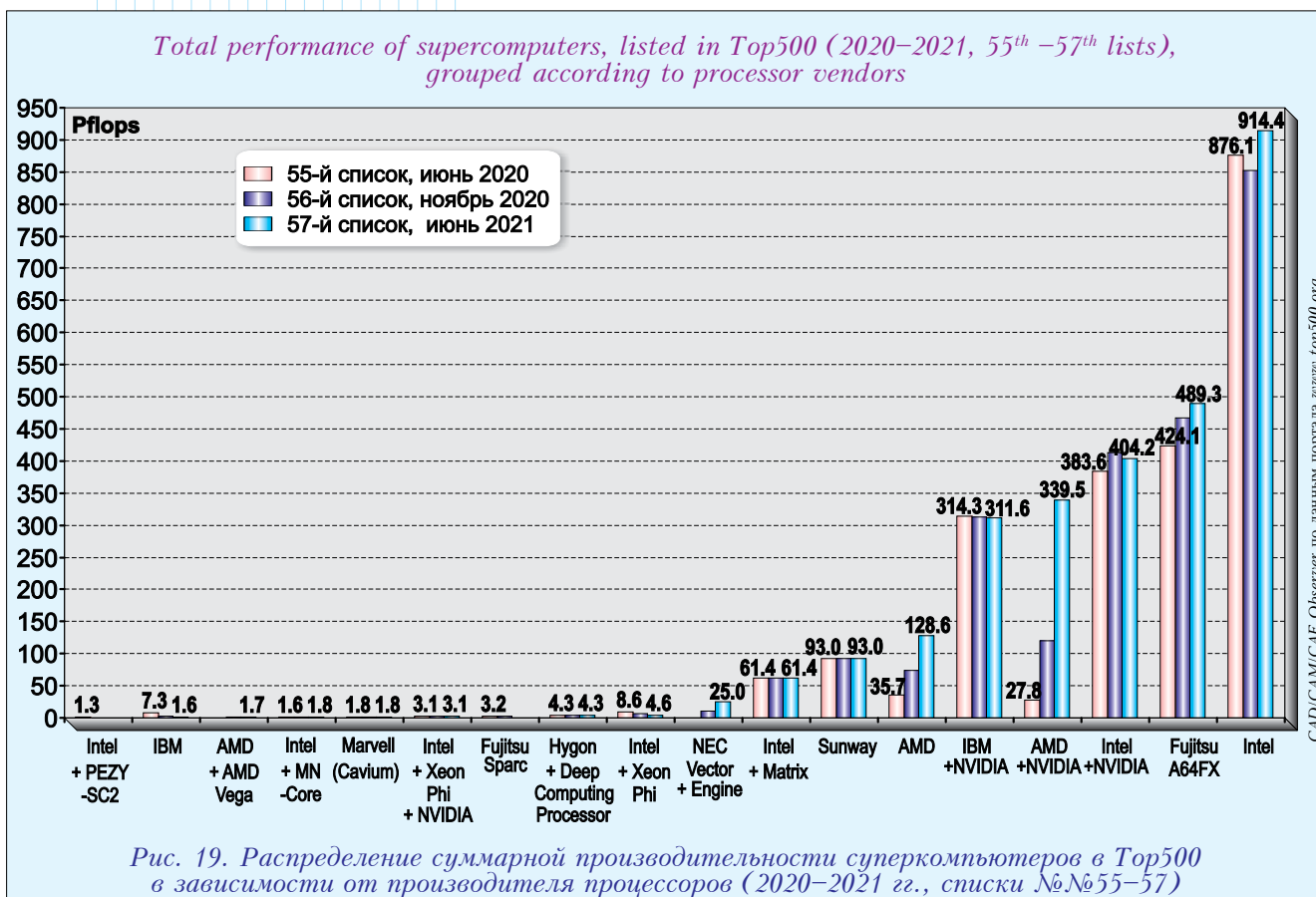
В июне 2021 года наиболее популярной в гибридных системах была комбинация “*Intel + NVIDIA*”. Всего в *Top500* таких систем сейчас насчитывается 109 ([рис. 18](#)); полгода и год назад их было 125 и 127 соответственно.

На втором месте находится сочетание “*AMD + NVIDIA*” (24 суперкомпьютера; полгода и год назад их было 6 и 1 соответственно).

На третьем месте находится сочетание “*IBM + NVIDIA*” (7 суперкомпьютеров; полгода и год назад их было 8 и 9 соответственно).

По суммарной производительности среди гибридных суперкомпьютеров на лидирующих позициях находится комбинация “*Intel + NVIDIA*”, набравшая 404.2 *Pflops* ([рис. 19](#)). Полгода и год назад для этой категории гибридных систем этот параметр составлял 412.4 и 383.6 *Pflops* соответственно.

На втором месте по суммарной производительности – комбинация “*AMD + NVIDIA*” с показателем 339.5 *Pflops*. Полгода и год назад этот параметр составлял 120.6 и 27.8 *Pflops* соответственно.



*Рис. 19. Распределение суммарной производительности суперкомпьютеров в Top500 в зависимости от производителя процессоров (2020–2021 гг., списки №№55–57)*



На третьем месте по суммарной производительности – комбинация “*IBM + NVIDIA*” с показателем 311.6 *Pflops*. Полгода и год назад этот параметр составлял 313.0 и 314.3 *Pflops* соответственно.

Наибольшую суммарную производительность показали те гибридные суперкомпьютеры, в которых применяется сочетание “*Intel + NVIDIA*”: 109 таких систем выдают на-гора 404.2 *Pflops*.

## 8. Ведущие производители процессоров для суперкомпьютеров

Поставщиком процессоров для подавляющего большинства суперкомпьютеров, входящих в *Top500*, является компания *Intel* (рис. 18). В июне и ноябре 2020 года и июне 2021-го количество систем на базе интеловских процессоров составляло 470, 459 и 432 соответственно (в том числе, гибридных систем – 136, 131, 114).

Остальные компании в 57-м списке отранжировались следующим образом:

- 2-е место у *AMD* – 48 систем, из которых 24 – гибридные;
- 3-е место занимает *IBM* – на их процессорах построено 8 систем, в том числе 7 гибридных;
- 4-е место у *Fujitsu* – пять систем, гибридных нет;
- 5-е место – китайский производитель *NRCPC* с одной негибридной системой;
- 6-е место – китайский производитель *Hugon* с одной гибридной системой;
- 7-е место – американский производитель *Marvell (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*: 1335.8, 1336.6 и 1389.6 *Pflops* соответственно (рис. 19), включая весомый вклад гибридных систем (459.7, 484.7 и 475.2 *Pflops*).

Остальные компании по суммарной производительности их процессоров в 55-м списке располагаются следующим образом:

- 2-е место занимает японская компания *Fujitsu* с показателем 489.3 *Pflops*;
- на 3-е место вышла американская *AMD* с показателем 469.8 *Pflops* (вклад гибридной системы составляет 341.2 *Pflops*);
- 4-е место занимает *IBM* с показателем 313.2 *Pflops* (вклад гибридных систем – 311.6 *Pflops*);
- 5-е место занимает китайский производитель *NRCPC*, продемонстрировавший в июне 2016 года единственную систему с показателем 93 *Pflops*;

• 6-е место – китайский производитель *Hugon* с показателем 4.3 *Pflops* для единственной гибридной системы;

• 7-е место – американский производитель *Marvell (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: 432 системы и 1389.6 *Pflops*.

Интеловские процессоры, заслужившие право попасть в суперкомпьютеры, относятся к следующим семействам: *Broadwell*, *Nehalem*, *Westmere*, *Haswell*, *IvyBridge*, *SandyBridge*, *Cascade Lake*, *Phi*, *Silver*, *Gold* и *Platinum*.

Новейшие процессоры *Fujitsu* используют систему команд *ARM*; ранее процессоры *Fujitsu* имели архитектуру *SPARC*.

Процессоры *AMD* принадлежат к семейству *EPYC* и имеют архитектуру *Zen*.

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

Процессоры *NRCPC* относятся к семейству *Sunway*, процессор *Hugon* имеет архитектуру *AMD Zen*, а процессор *Marvell (Cavium)* построен на основе архитектуры *ARM (Advanced RISC Machine)*. 🍷

### Об авторе:

Павлов Сергей Иванович – *Dr. Phys.*, ведущий научный сотрудник Института численного моделирования 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 2020–2021 годах: обзор достижений и анализ рынков. Часть I. Сфера искусственного интеллекта // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2021, №3, с. 72–79.
2. Павлов С. Системы высокопроизводительных вычислений в 2020–2021 годах: обзор достижений и анализ рынков. Часть II. Серверы, облачная ИТ-инфраструктура // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2021, №4, с. 69–79.
3. Павлов С. Системы высокопроизводительных вычислений в 2019–2020 годах: обзор достижений и анализ рынков. Часть III. Суперкомпьютеры // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2020, №5, с. 6–21.
4. Павлов С. Системы высокопроизводительных вычислений в 2018–2019 годах: обзор достижений и анализ рынков. Часть III. Суперкомпьютеры // *CAD/CAM/CAE Observer*, 2019, №5, с. 65–78.