

## РАЗДЕЛ 1

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И АРХИТЕКТУРА  
СУПЕРКОМПЬЮТЕРОВ

С.М. Абрамов

2018: АНАЛИЗ СУПЕРКОМПЬЮТЕРНЫХ  
КИБЕРИНФРАСТРУКТУР ВЕДУЩИХ СТРАН МИРАИПС имени А.К. Айламазяна РАН, г. Переславль-Залесский,  
abram@botik.ru

## Введение

В ведущих странах мира суперкомпьютерные технологии (СКТ) властью и обществом достаточно давно рассматриваются как единственный инструмент обеспечения конкурентных преимуществ. Одно из ярких высказываний на эту тему было сделано еще в 2004 году Президентом Совета по конкурентоспособности США Деборой Винс-Смит: «Технологии, таланты и деньги сейчас доступны [многим странам] по всему миру, США сталкивается с беспрецедентной иностранной экономической конкуренцией. Страна, желающая победить в конкуренции, **обязана победить в вычислениях**»<sup>1</sup>. Сегодня, в эпоху разворачивания в мире цифровой экономики, только усиливаются эта роль суперкомпьютерной отрасли и роль суперкомпьютерной киберинфраструктуры (СК-инфраструктуры) ведущих стран. Это подтверждается и новыми публикациями [1] с говорящими сами за себя заголовками. Учитывая сказанное и планы России совершить рывок и построить в стране цифровую экономику, важными и актуальными становятся истинная оценка сегодняшнего состояния СК-инфраструктуры нашей страны, достоверное сравнение наших позиций в суперкомпьютерной отрасли с позициями ведущих стран мира. Этому и посвящена данная статья.

## Терминология и методология

Общепринятое определение термина *суперкомпьютер* [2] – вычислительная система, превосходящая по производительности (в мире, на некоторый момент времени) другие системы – требует уточнения. Если определение оставить ровно таким, то в каждый момент времени будет

---

<sup>1</sup> “With technology, talent and capital now available globally, the U.S is facing unprecedented economic competition from abroad. The country that wants to out compete **must out-compute.**” – Deborah Wince-Smith, President of the Council on Competitiveness, 4 Jun 2004, opening «Supercharging Innovation, Competitiveness: HPC Conference».

ровно один суперкомпьютер. Естественное уточнение: суперкомпьютерами будем называть несколько ( $N$ ) самых мощных по производительности вычислительных систем. Осталось определить разумным образом число  $N$ . Очевидно, что суперкомпьютеров не может быть слишком мало или слишком много. Величина  $N = 500$  представляется разумной. Тем более что в мире, начиная с 1993 года, два раза в год (в июне и в ноябре) на крупнейших мировых суперкомпьютерных форумах публикуют рейтинг пятисот самых мощных компьютеров в мире – Top500 [3]. Таким образом, получаем естественное и абсолютно точное определение: если система вошла в Top500, то это суперкомпьютер, если не вошла – то не суперкомпьютер. Напомним, в Top500 системы ранжируются по реальной производительности, измеренной на тесте Linpack – Linpack-производительность. Везде далее мы будем под производительностью понимать только Linpack-производительность. В списке Top500 ее обозначают *RMax*.

Еще одно необходимое уточнение определения связано с тем, что из-за различных соображений (например, из-за секретности) заявки на включение в рейтинг Top500 подаются не для всех систем. С учетом этого формулируем окончательное определение.

**Определение.** В данной статье будем термин *суперкомпьютер* понимать так: вычислительная система, имеющая такую производительность, которая соответствует производительностям машин, включенных в соответствующую редакцию списка Top500.

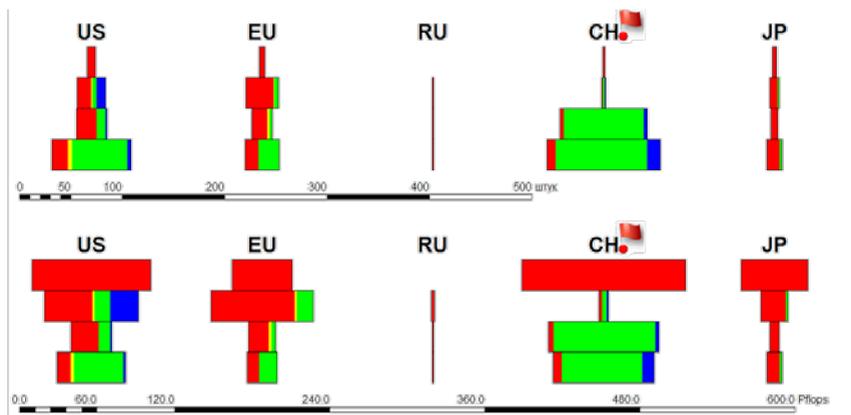
При таком определении массив данных, свободно доступный на сайте Top500 [3], является достоверным и многоплановым описанием состояния суперкомпьютерной отрасли. Причем это описание ретроспективное – доступны все пятьдесят редакций рейтинга, начиная с июня 1993 года, с шагом в полгода, – и весьма подробное – каждая редакция рейтинга – это таблица из 500 записей, в каждой записи около 40 полей с различными сведениями про каждый суперкомпьютер. В цикле работ [4, 5] предложена методика анализа этого массива данных. Ключевые моменты методики:

- Суперкомпьютеры, входящие в список Top500, очень сильно отличаются друг от друга по своей ключевой характеристике – производительности. И, как следствие, они сильно разнятся по используемым техническим решениям, цене, потребительским свойствам и т.д.
- Исходя из этого, ошибочно считать суперкомпьютеры «штуками», надо опираться на ключевую характеристику – производительность. Например, сравнивая оснащенность различных стран суперкомпьютерной техникой, надо обращать больше внимания на суммарную производительность доступных стране суперкомпьютеров, а не на их количество.

## Состояние суперкомпьютерной отрасли в мире и в России

Анализ уровня развития и освоения СКТ в России и в других странах – США, Китай, Япония, Евросоюз, – начнем с обзора их СК-инфраструктуры. Здесь важно отметить, сколько суперкомпьютеров того или иного уровня имеется в стране, какая их суммарная производительность, в каких областях они используются. Будем выделять четыре уровня СК-инфраструктуры:

- Суперкомпьютеры уровня Top1–20 (то есть занимающие первые 20 мест в рейтинге). Эти системы устанавливаются в крупнейших национальных суперкомпьютерных центрах (СКЦ);
- Суперкомпьютеры уровня Top21–100 – крупнейшие региональные и отраслевые СКЦ;
- Суперкомпьютеры уровня Top101–250 – крупные региональные и корпоративные СКЦ;
- Суперкомпьютеры уровня Top251–500 – СКЦ предприятий и научных учреждений.



*Рис. 1. Суперкомпьютерная киберинфраструктура США (US), стран Евросоюза (EU), России (RU), Китая (CH) и Японии (JP), ноябрь 2017 года*

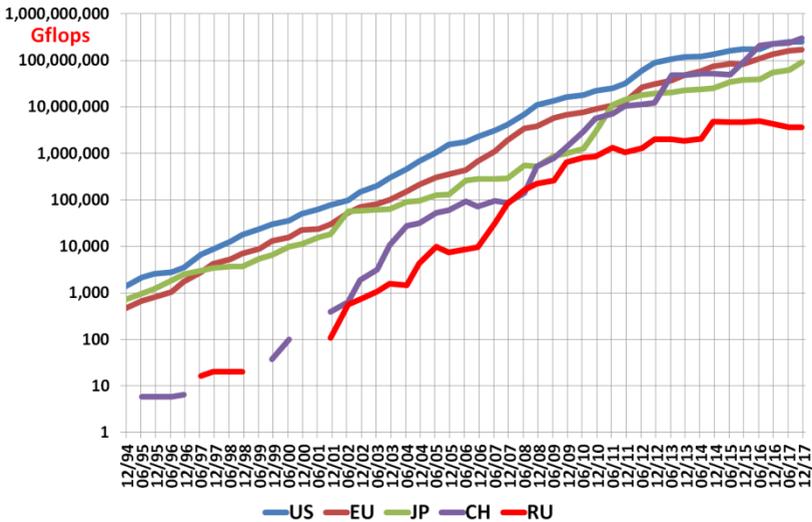
На рис. 1 представлены характеристики СК-инфраструктур США, Евросоюза, России, Китая и Японии:

- В верхней части рисунка для каждой страны размер каждого слоя «пирамиды» указывает количество суперкомпьютеров каждого из 4-х уровней, в нижней части показана суммарная производительность суперкомпьютеров этих уровней;

- Цветами выделены доли декларированных областей применения СКЦ: красный цвет — исследования и разработки; зеленый цвет – индустриальные применения в реальной экономике; синий цвет – государственные нужды и оборона; желтый цвет – нет информации.

Очевидно следующее:

- Все страны (кроме России) имеют сбалансированную СК-инфраструктуру – в заметном количестве присутствуют СКЦ всех 4-х уровней;
- СК-инфраструктура Китая, пожалуй, более серьезная, чем даже у США. Видна жесткая воля внедрения СКТ и в исследования, и в приложения в реальной экономике. Отметим, что все это достигнуто Китаем за последние 8 лет: в 2009 году практически никакой СК-инфраструктуры Китай не имел;
- Россия, по сути, не обладает никакой СК-инфраструктурой. По крайней мере, такой, которая отвечала бы ее планам по развитию цифровой экономики.

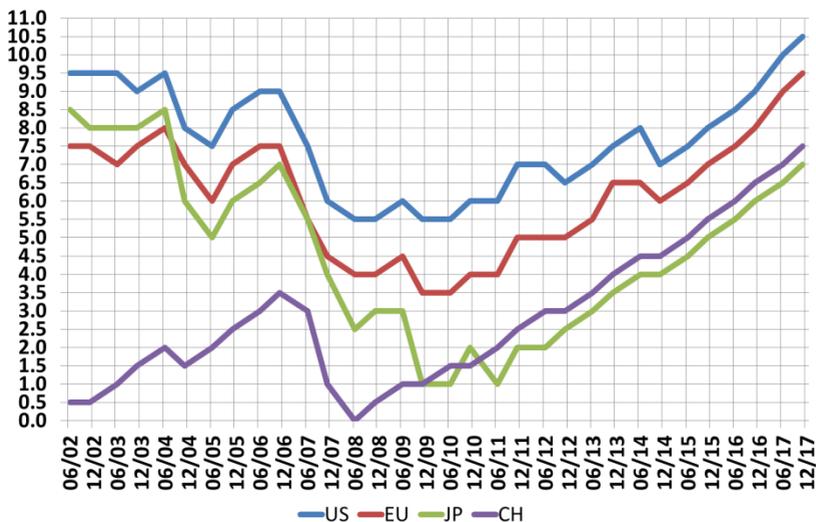


**Рис. 2. Суммарная производительность всех суперкомпьютеров США (US), стран Евросоюза (EU), России (RU), Китая (CH) и Японии (JP)**

Важным интегральным показателем степени освоения СКТ страной является суммарная производительность всех суперкомпьютеров

страны. Графики этого показателя (рис. 2) так же ярко иллюстрируют достижения Китая в последние годы и недопустимое отставание России.

Далее можно абсолютно объективно и достоверно оценить отставание России (в годах) в области СКТ от других стран – США, стран Евросоюза, Китая и Японии. Эта оценка вычисляется следующим образом: берем любой момент времени, например, 01.12.2009, смотрим суммарную производительность всех суперкомпьютеров России в этот момент и дальше смотрим, сколько лет назад такое же значение было у США. Получаем, что отставание России от США в освоении СКТ в декабре 2009 года составляло 5,5 лет. Эти вычисления повторяем для каждого момента времени и для всех стран. Результат показан на рис. 3.



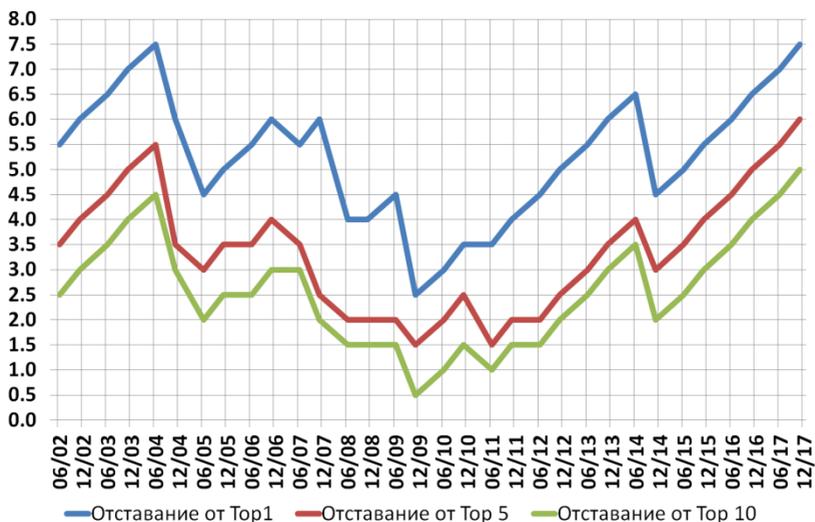
**Рис. 3. Отставание России (в годах) по суммарной производительности суперкомпьютеров от США (US), стран Евросоюза (EU), Китая (CH) и Японии (JP)**

Если в 2006–2008 годах Россия резко сокращала свое отставание от США, стран Евросоюза, Китая и Японии, то начиная с 2010 года мы практически неуклонно ежегодно наращиваем свое отставание от этих стран. И на сегодня это отставание достигло максимума за весь период наблюдения.

Аналогичным образом можно объективно и достоверно рассчитать отставание России (в годах) от уровней технологий. Рассмотрим расчет отставания от технологического уровня систем класса Top1: в каждый момент времени рассматриваем самый мощный суперкомпьютер в Рос-

сии и оцениваем, сколько лет назад этот суперкомпьютер занял бы первое место в рейтинге. Эта величина (в годах) и будет отставанием России от технологий класса Top1. Показатели технологического отставания России от технологий класса Top1, Top5 и Top10 показаны на рис. 4.

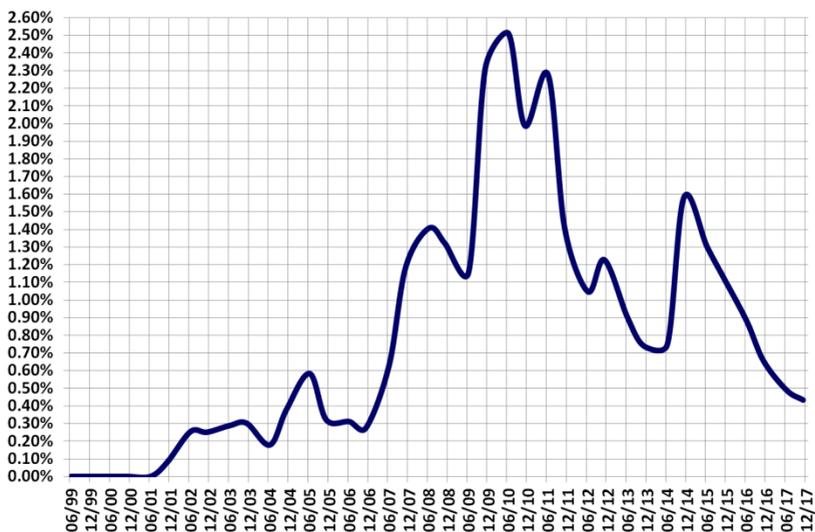
Видны периоды, когда Россия сокращала технологическое отставание. Было даже время, когда от технологий уровня Top10 нас отделяли всего полгода. Однако в последние три года технологическое отставание неуклонно растет и на сегодняшний день оно достигло максимума за весь период наблюдения.



**Рис. 4. Отставание (в годах) России от уровней технологий классов Top1, Top5 и Top10**

Наконец, роль страны в мировой суперкомпьютерной отрасли, степень устремленности к цифровой экономике хорошо характеризует доля страны в совокупной мировой вычислительной производительности. То есть отношение суммарной производительности суперкомпьютеров, установленных в данной стране, к суммарной производительности всего списка Top500. По своей роли и своему смыслу этот параметр чем-то аналогичен доле экономики страны в мировом ВВП.

Доля России в совокупной мировой вычислительной производительности (рис. 5) за весь период наблюдения в лучшие времена (2009 год) достигала 2,5 %, а в последние 3 года неуклонно сокращалась с 1,58 % (ноябрь 2014 года) до 0,43 % (ноябрь 2017 года).



**Рис. 5. Доля России в совокупной мировой вычислительной производительности суперкомпьютеров**

*Таблица 1*

**Доли стран в совокупной мировой производительности суперкомпьютеров (А), в мировом ВВП (В) и отношения этих долей (А/В), ноябрь 2017 года**

<b>Страна</b>	<b>Доля <math>\Sigma R_{max}</math> (А)</b>	<b>Доля ВВП (В)</b>	<b>Отношение А/В</b>
Китай	35,36 %	14,84 %	2,38
Япония	10,75 %	5,91 %	1,82
США	29,56 %	24,32 %	1,22
Евросоюз	20,1 %	21,37 %	0,94
Россия	0,43 %	1,8 %	0,24

В табл. 1 приведены доли различных стран (на ноябрь 2017 года) в совокупной мировой производительности суперкомпьютеров (доли в  $\Sigma R_{max}$ , по сути, это их доли в мировой суперкомпьютерной отрасли) и их доли в мировой экономике (доли в мировом ВВП), а также отношение этих долей. Данные о ВВП различных стран в 2017 году взяты из Сети Интернет: <https://www.businesslive.co.za/fm/fm-fox/numbers/2017-03-13-the-global-economy-by-gdp>. Таблица отсортирована по последней колонке – по величине отношения долей. Этот порядок очевидным образом отражает устремление стран к продвижению (на деле, а не на словах) по пути к цифровой эко-

номике. У России этот показатель не просто худший, он в 4 раза хуже данного показателя у ближайшего соседа – Евросоюза.

### Заключение

На сегодня США, Китай, Япония и Евросоюз выстроили добротную СК-инфраструктуру, как базис перехода к цифровой экономике, имеют весомые доли своих стран в совокупной мировой производительности суперкомпьютеров. И доли эти сравнимы (у Евросоюза) или даже больше (в 2,38–1,22 раза у Китая, Японии и США), чем доли этих стран в мировом ВВП. Такое соотношение хорошо иллюстрирует реальное продвижение стран на пути к цифровой экономике.

Россия на сегодня не имеет никакой осмысленной СК-инфраструктуры, а ее доля в совокупной мировой производительности суперкомпьютеров почти в 4 раза меньше ее доли в мировом ВВП. В последние годы в области СКТ неуклонно растет отставание России от других ведущих стран и отставание России от мирового уровня развития СКТ.

Все эти обстоятельства следует самым серьезным образом учитывать при формировании государственной политики в области СКТ и цифровых технологий.

1. *Stephen J. Ezell and Robert D. Atkinson* The Vital Importance of High-Performance Computing to U.S. Competitiveness – Information Technology & Innovation Foundation, Washington, DC, USA, April 2016. – Режим доступа: <http://www2.itif.org/2016-high-performance-computing.pdf> (дата обращения: 12.06.2018).
2. Статья «Supercomputer» в Сетевом ресурсе «Википедия». – Режим доступа: <https://en.wikipedia.org/wiki/Supercomputer> (дата обращения: 12.06.2018).
3. Сайт рейтинга пятисот самых мощных компьютеров в мире – Top500 [Сетевой ресурс]. Доступен в Сети как: <https://www.top500.org/> (дата обращения: 12.06.2018).
4. *Абрамов, С.М.* Правда, искажающая истину. Как следует анализировать Top500? [Текст] / С.М. Абрамов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. – Сер. «Вычислительная математика и информатика». – 2013. – Т. 2, № 3. – С. 5–31.
5. *Абрамов, С.М.* Состояние и перспективы развития вычислительных систем сверхвысокой производительности [Текст] / С.М. Абрамов, Е.П. Лититко // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2013. – № 2. – С. 6–22.