

## СПИСОК TOP 500. СПИСОК GRAPH 500

Список Top 500 содержит рейтинги наиболее мощных компьютеров мира. Рейтинги определяются с помощью теста High-Performance Linpack (HPL) – решения случайно заданной системы линейных алгебраических уравнений с плотной матрицей методом LU-разложения с выбором главного элемента по столбцу.

Тест Linpack (1979 г.) первоначально являлся дополнением к библиотеке Linpack, содержащей Фортран-программы для решения систем линейных алгебраических уравнений и предназначался для оценки времени решения конкретной системы. Автором теста является американский ученый Джек Донгарра (Jack Dongarra). Используется блочно-циклическое распределение данных между вычислительными узлами: исходная матрица разделяется на логические блоки определенной размерности, каждый такой блок в свою очередь разбивается на более мелкие блоки. Каждый «мелкий» блок достается отдельному процессору системы. Для обмена данными между процессорами используется интерфейс MPI, последовательные вычисления на каждом процессоре проводятся с помощью функций библиотеки BLAS.

В списке Top 500 представлены следующие данные по каждому компьютеру:

- Rank – порядковый номер в списке Top 500;
- System – название (тип) компьютера, указанное поставщиком;
- Cores – количество вычислительных ядер;
- Rmax – максимальная полученная производительность по Linpack (PFlop/s);
- Rpeak – теоретическая пиковая производительность (PFlop/s);
- Power – электропотребление системы в киловаттах (kW).

Места в списке распределяются по реальной производительности Rmax, достигнутой при выполнении теста Linpack. Список обновляется 2 раза в год (в июне и ноябре).

Первые два места в 64-й редакции списка ноября 2024 г. и лучший из российских суперкомпьютеров:

Rank	System	Cores	Rmax (PFlop/s)	Rpeak (PFlop/s)	Power (kW)
1	<b>El Capitan</b> – HPE Cray EX255a, AMD 4th Gen EPYC 24C 1.8GHz, AMD Instinct MI300A, Slingshot-11, TOSS, (link is external)HPE DOE/NNSA/LLNL(link is external) United States	11,039,616	1,742.00	2,746.38	29,581
2	<b>Frontier</b> – HPE Cray EX235a, AMD Optimized 3rd Generation EPYC 64C 2GHz, AMD Instinct MI250X, Slingshot-11, HPE Cray OS, (link is external)HPE DOE/SC/Oak Ridge National Laboratory(link is external)	9,066,176	1,353.00	2,055.72	24,607

Rank	System	Cores	Rmax (PFlop/s)	Rpeak (PFlop/s)	Power (kW)
60	United States <b>Chervonenkis</b> - YANDEX Y4N-GA1-TY25-ZB0, AMD EPYC 7702 64C 2GHz, NVIDIA A100 80GB, Infiniband, YANDEX, NVIDIA Yandex Russia	193,440	21.53	29.42	

Для справки: флопс (FLOPS, FLoating point OPerations per Second) – единица, показывающая, сколько операций с плавающей точкой в секунду выполняет данная вычислительная система. Производительности 1 гигафлопс ( $10^9$  флопс) суперкомпьютеры достигли в 1987 г., производительности 1 терафлопс ( $10^{12}$  флопс) – в 1997 г., производительности 1 петафлопс ( $10^{15}$  флопс) – в 2008 г., производительность 1 эксафлопс ( $10^{18}$  флопс) ожидалась в 2016 г. (далее зеттафлопс, йотафлопс). С июня 2022 г. в списке Top 500 появился эксафлопсный компьютер (США).

Самый мощный (?) в Беларуси суперкомпьютер СКИФ-ГЕО-ЦОД-РБ обладает характеристиками  $R_{max}=65.95$  Тфлопс,  $R_{peak}=87.09$  Тфлопс (установлен в ОИПИ НАН Беларуси). В списке Top 50 самых мощных суперкомпьютеров СНГ (редакция сентября 2020 г.) он занимал 47-е место (в последующих редакциях последний в списке уже более мощный). Первое место списка Top 50 в редакции марта 2023 г. занимает суперкомпьютер «Червоненкис» производства Яндекс NVIDIA, установленный в Яндекс (Москва).

Суперкомпьютер СКИФ К-1000 (был установлен в ОИПИ НАН Беларуси) в списке Top 500 самых мощных суперкомпьютеров мира занимал в ноябре 2004 г. 99-ю позицию с характеристиками  $R_{max}=2$  Тфлопс,  $R_{peak}=2.5$  Тфлопс (576 ядер, процессоры суперкомпьютера одноядерные).

Время выполнения теста на компьютерах списка Top 500 удваивается (возможно, теперь это уже не так) каждые три года. Действительно, согласно закону Мура (закон не имеет обоснования, но уже много лет выполняется) производительность вычислительных систем удваивается каждые 18 месяцев (теперь – каждые два года), объем памяти увеличивается в четыре раза каждые 3 года. Для получения  $R_{max}$  используются матрицы, занимающие всю оперативную память. Предположим, используется матрица размера  $N \times N$  и порядка  $N^3$  операций теста Linpack выполняются за время  $T$ . Через три года будет использоваться матрица  $2N \times 2N$ , поэтому на выполнение  $(2N)^3$  операций потребуется время  $2T$  (число операций увеличилось в 8 раз, а производительность только в 4 раза). Так что со временем выполнение теста приведет к очень большим затратам. В настоящее время используется уже третья редакция теста; пока не ясно, возможно ли будет разумно использовать тест в будущем.

Для сравнения компьютеров одного теста Linpack недостаточно. Разрабатывались и разрабатываются также другие тесты.

## Тест HPCG

В 2013 г. Jack Dongarra и Michael A. Heroux предложили новый тест HPCG (high performance conjugate gradient). Метод сопряженных градиентов – итерационный алгоритм решения симметричной положительно определенной системы линейных уравнений; основные вычисления составляют умножения матрицы на вектор и вычисления скалярных произведений. В основе теста HPCG лежит решение СЛАУ с разреженной

квадратной матрицей большой размерности методом сопряженных градиентов с предобуславливателем Гаусса-Зейделя. Реализация алгоритмов выполнена на C++ с использованием технологий MPI и OpenMP.

Создатели теста HPCG утверждают, что Linpack (он же HPL, high performance Linpack) потерял свою актуальность и не способен реально оценить мощность суперкомпьютера для современных задач, в основе решения которых лежат решения дифференциальных уравнений. В таких задачах нагружается подсистема памяти и идет активное межузловое взаимодействие. В тесте Linpack же заложена хорошая вычислительная нагрузка, и не учитываются большие массивы данных. Считается, что разрыв в производительности на тесте HPL и на реальных приложениях будет увеличиваться, и что суперкомпьютер с хорошей производительностью на тесте Linpack будет не столь удачным для реальных задач.

Список, основанный на тесте HPCG, возглавляет (ноябрь 2023) суперкомпьютер Fugaku (RIKEN Center for Computational Science) – 16 PFlop/s (442 PFlop/s).

## **Тест Graph 500**

Тест Linpack демонстрирует в основном вычислительные возможности суперкомпьютеров, не отражая скорость обработки больших массивов данных. Однако в настоящее время существует множество областей, для которых задачи по обработке данных являются ключевыми. Сравнительно новый рейтинг суперкомпьютерных систем Graph 500 ориентирован на оценку производительности суперкомпьютерных платформ, связанных с задачами по обработке очень больших массивов данных. Для тестирования производительности в рамках проекта Graph 500 разработан новый тестовый комплект.

Тест охватывает три основные области: операции параллельного поиска (задается большой разветвленный граф; требуется по начальной вершине графа найти остальные путем обхода ребер), решение задачи по нахождению оптимального кратчайшего пути и выявление максимального независимого множества. Учитываются в тестовом комплекте задачи, решаемые в таких областях применения высокопроизводительных систем, как безопасность (криптография), биоинформатика, социальные и нейронные сети.

Рейтинг Graph 500 дополняет классический рейтинг Top 500. Производительность при составлении списка Graph 500 определяется по показателю GUPS (Giga-Updates per Second – миллиард операций модификации памяти, выполненных за секунду), он же GTEPS.

Первое место (BFS) в последней (ноябрь 2024 г.) редакции списка Graph 500 занимает японский суперкомпьютер Fugaku (7 299 072 вычислительных ядер), перебирает 138 867 млрд ребер в секунду (в первой редакции списка в ноябре 2010 г. лидер перебирал 7 млрд).

Первое место (SSSP, Single-Source Shortest Paths) в последней (ноябрь 2024 г.) редакции списка Graph 500 занимает китайский суперкомпьютер **Wuhan Supercomputer** (6 999 552 вычислительных ядер). Его показатель – 15 335 GTEPS.