



Отдел суперкомпьютерного
моделирования

Международная научная
конференция
«Суперкомпьютерные дни
в России»

Москва
25.09.2023

Экспериментальная оценка результатов внедрения технологии NVIDIA GPUDirect на суперкомпьютере НИУ ВШЭ

Чулкевич Р.А., Козырев В.И., Костенецкий П.С., Раимова А.А.



Характеристики суперкомпьютера *CHARISMa* (*Computer of HSE for Artificial Intelligence and Supercomputer Modelling*)

2

- **10 место в ТОП 50 СНГ**
- Пиковая производительность: **2 Петафлопс** (2 квадриллиона операций в секунду над числами с двойной точностью)
- LINPACK-производительность: **927.4 Терафлопс**
- **46** вычислительных узлов
 - **6** узлов с **1 ТБ** ОЗУ, **8 GPU A100 80 ГБ SXM**
 - **10** узлов с **1,5 ТБ** ОЗУ, 4 GPU V100 32 ГБ
 - **19** узлов с **768 ГБ** ОЗУ, 4 GPU V100 32 ГБ
 - **11** узлов с 384 ГБ ОЗУ для расчётов на CPU
- **2** управляющих узла
- **148 GPU NVIDIA Tesla A100 80 ГБ**
- **16 GPU NVIDIA Tesla V100 32 ГБ**
- **2584** ядер центральных процессоров
- Оперативная память: **40,3 ТБ RAM + 7.5 ТБ GPU Memory**
- Дисковая память: **1,15 ПБ**
 - параллельная СХД на базе Lustre **840 ТБ**
 - локальные диски **128 ТБ**
 - сервер резервного копирования **182 ТБ**
- Коммуникационная сеть: **2 x InfiniBand EDR**
(**2x100 Гбит/с**, топология **FatTree**)



В Суперкомпьютер "сHARISMa" в цифрах

3

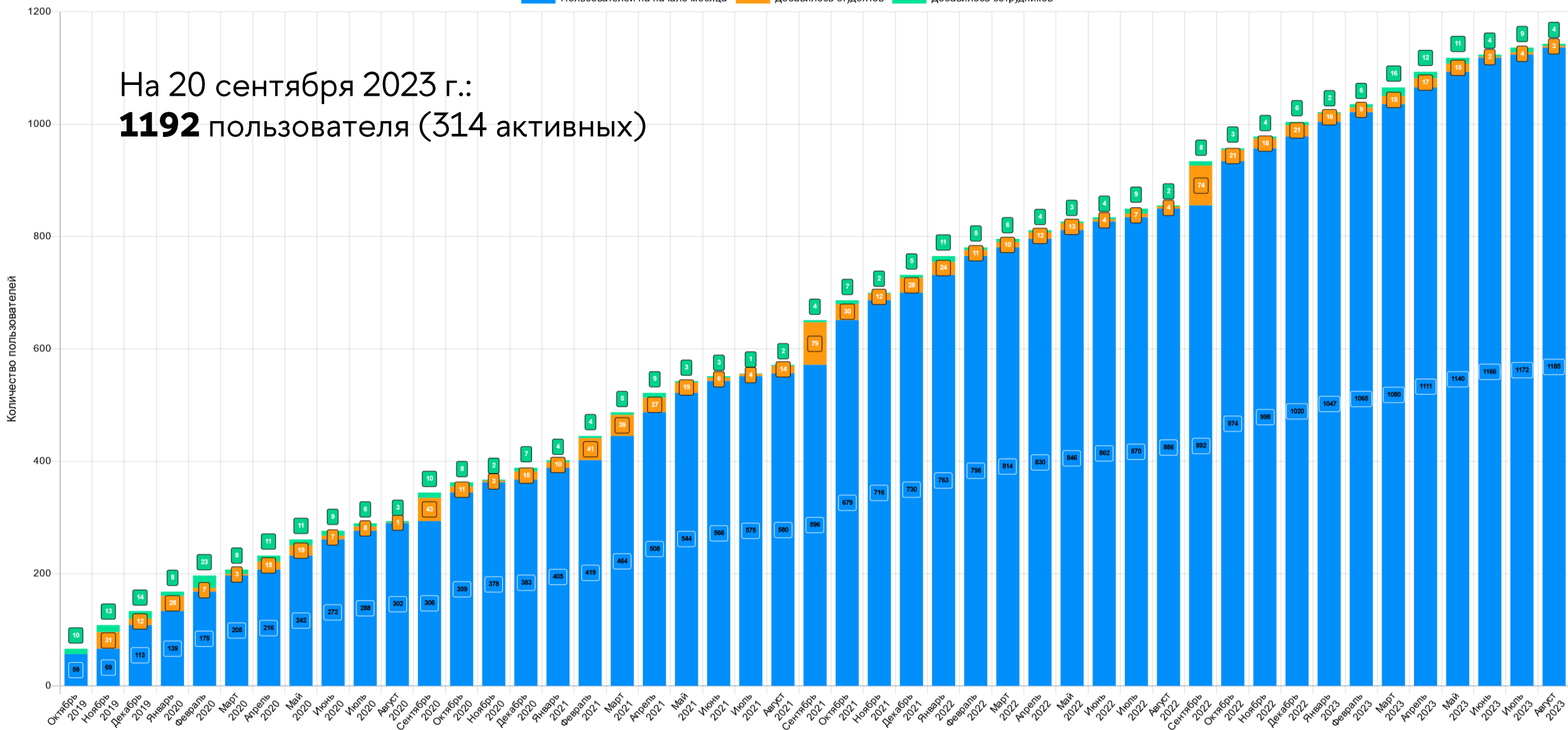
- **314** активных пользователей (всего 1192)
- **73** подразделения НИУ ВШЭ активно используют суперкомпьютер
- **1 200 000** задач выполнено пользователями
- **77** научных проектов сейчас в работе
- **431** проект выполнен за 2020-2023 г.
- **242+** научных статей опубликовано пользователями за 4 года
- **85** научных статей в журналах из I квартиля SCOPUS и Core A*
- **1605** заявок пользователей обработано техподдержкой
- **24/7** обеспечена бесперебойная работа суперкомпьютера



Прирост количества пользователей HPC

Пользователей на начало месяца Добавилось студентов Добавилось сотрудников

На 20 сентября 2023 г.:
1192 пользователя (314 активных)

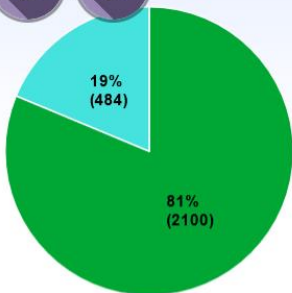




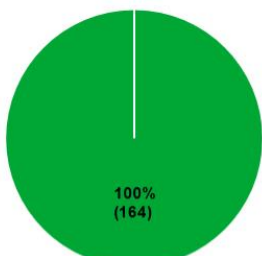
Собственная система мониторинга

Загрузка суперкомпьютерного комплекса НИУ ВШЭ

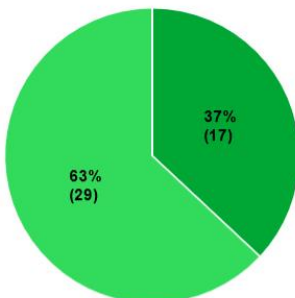
16:56:21



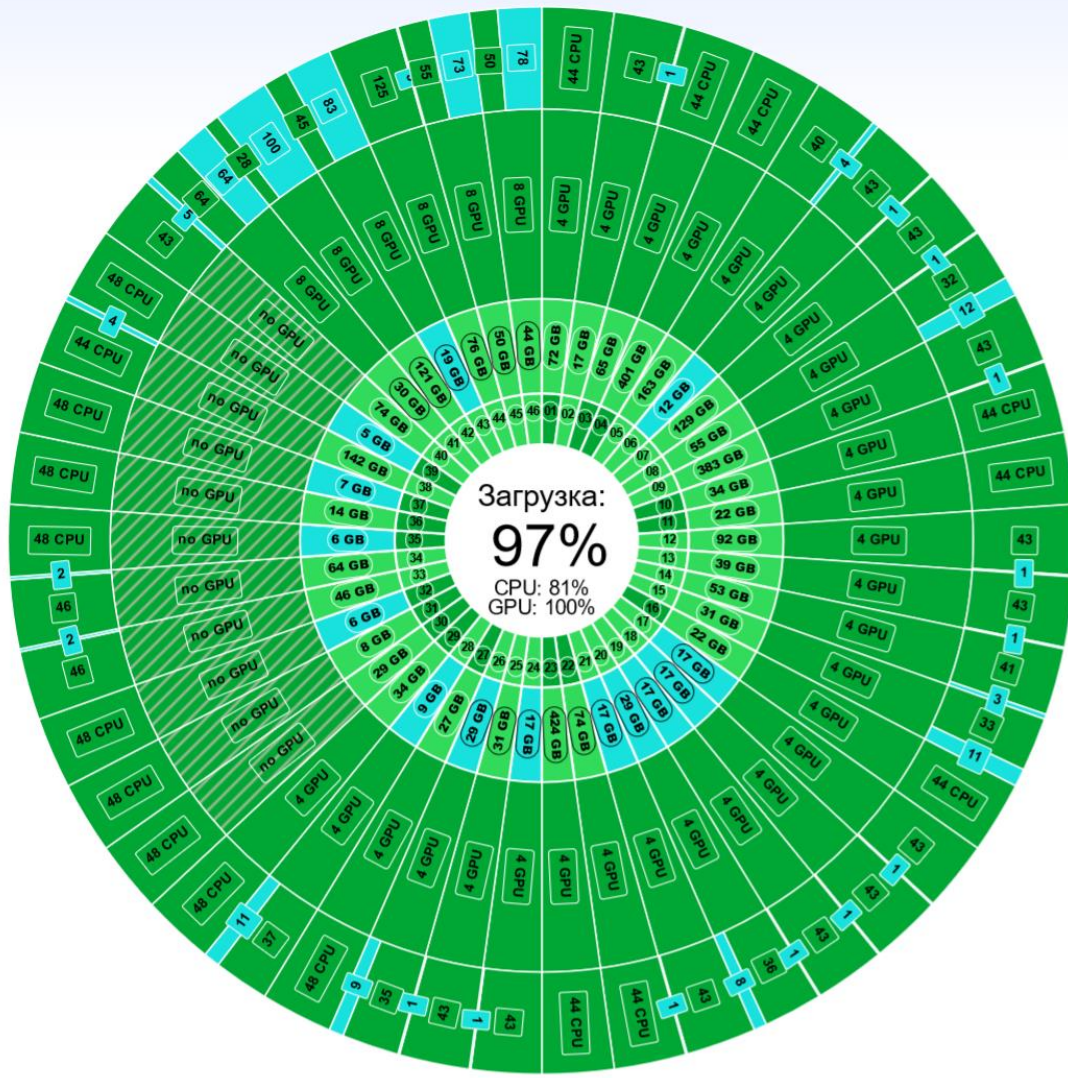
● CPU занято ● CPU свободно



● GPU используется ● GPU заблокировано
● GPU свободно

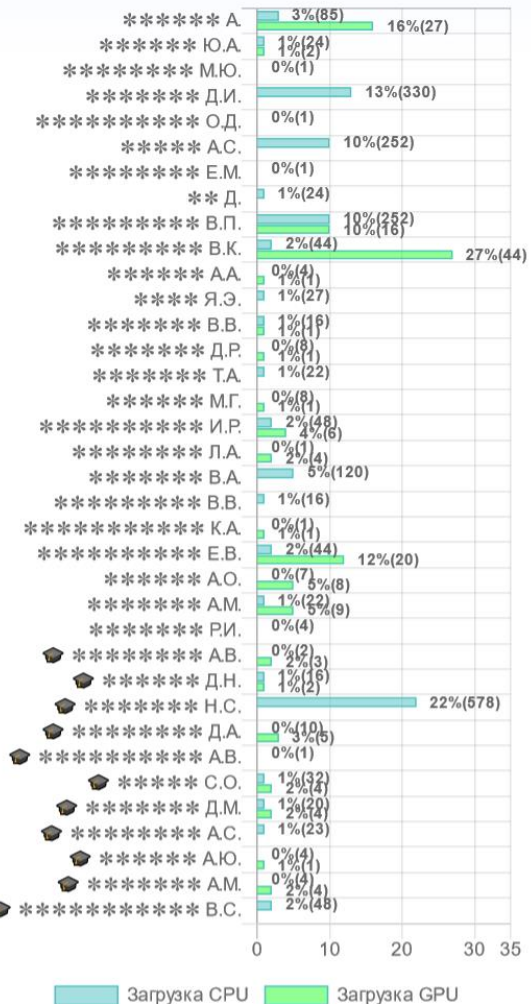


● Узлов занято ● Узлов частично занято
● Узлов свободно ● Узлов зарезервировано



● Занят ● Частично занят ● Заблокирован ● Свободен ● В резервации ● Отключен

Сейчас считают 36 чел.
Задач ожидает: 10 (CPU: 134 GPU: 6)
Задач выполняется: 330 (CPU: 2100 GPU: 164)

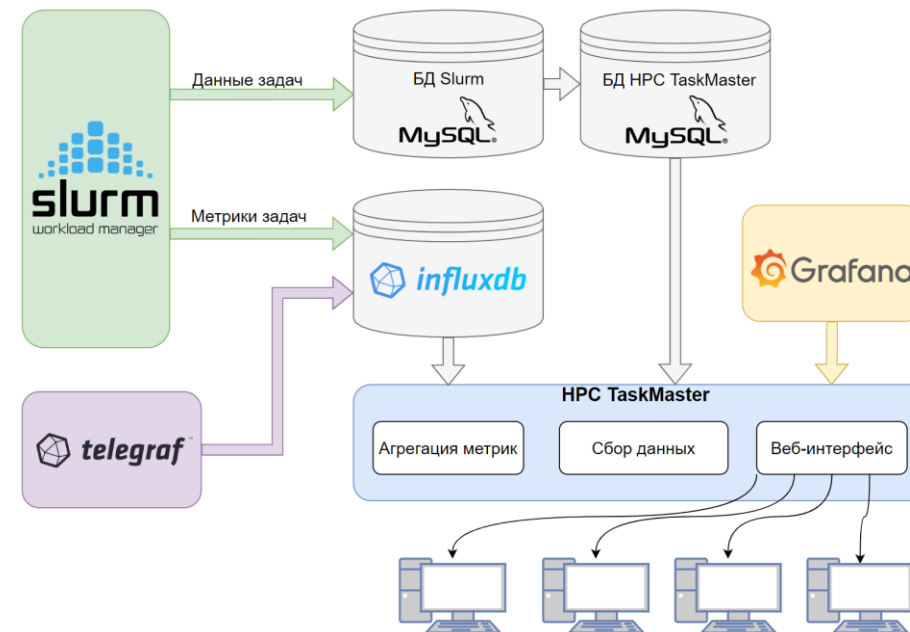
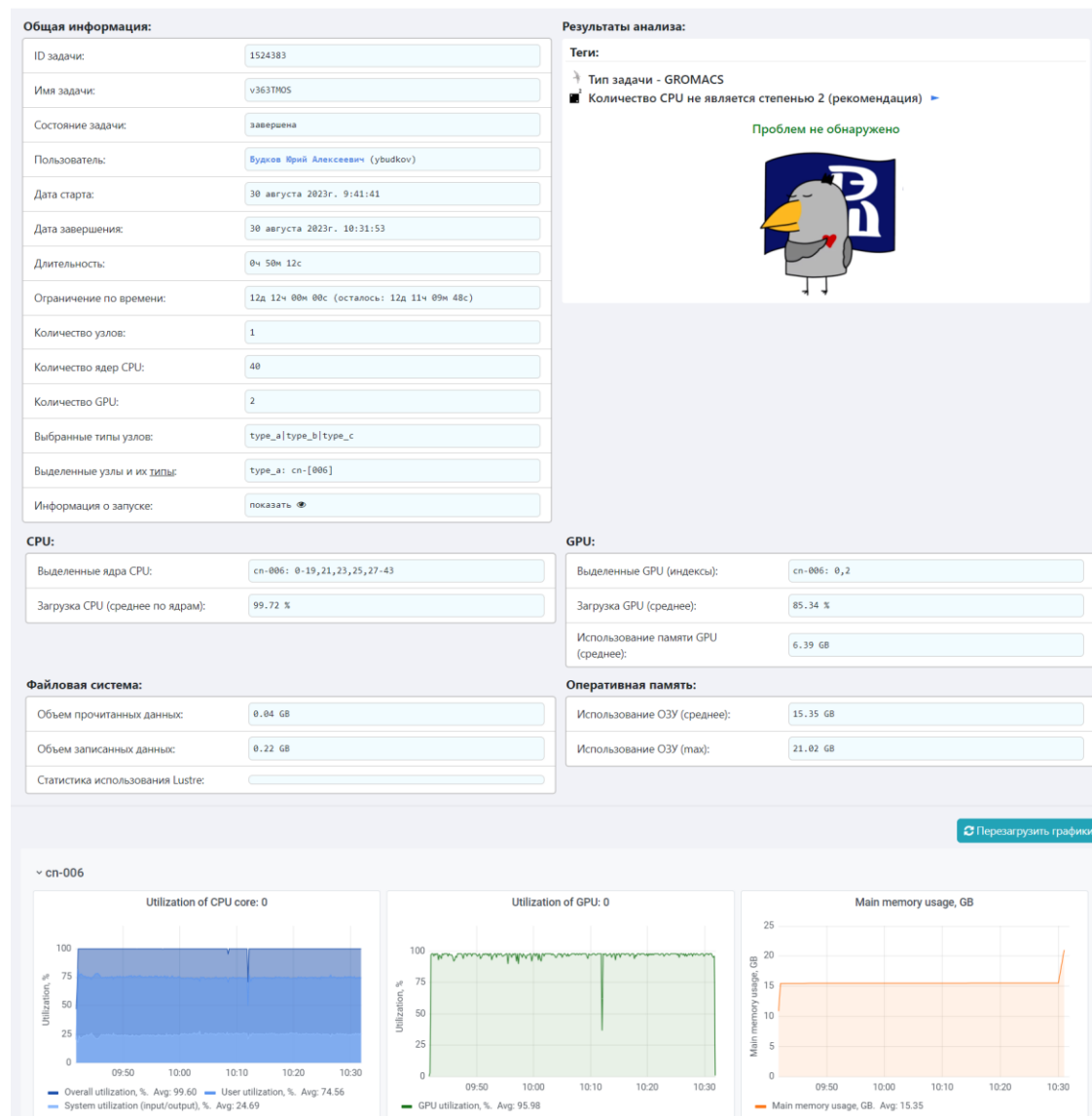


■ Загрузка CPU ■ Загрузка GPU



- 1192 пользователя выполняют свои расчеты на суперкомпьютере *CHARISMa*
- Пользователи могут ошибочно запускать неэффективные задачи, которые могут замедлить работу остальных пользователей
- Под неэффективными подразумеваются задачи которые используют не все выделенные ресурсы
- Необходимо автоматически определять неэффективных задач, а также собирать статистику пользователей для обнаружения у них проблем с запусками и проведения консультаций
- Разработанная система позволяет сэкономить дорогостоящее машинное время суперкомпьютера

HPC TaskMaster - система для обнаружения неэффективных и некорректно запущенных вычислительных задач



Открытый исходный код

Система собирает информацию о задачах, а не об узлах кластера

Метрики задач автоматически анализируются на наличие проблем

Для каждой задачи формируется вывод

Система интегрирована в личный кабинет пользователя суперкомпьютера

Kostenetskiy, P. S., Shamsutdinov, A. B., Chulkevich, R. A., Kozyrev, V. I., Antonov D. A. (2022) HPC TaskMaster – Task Efficiency Monitoring System for the Supercomputer Center. Parallel computational technologies (PCT) 2022

Open Source / HPC TaskMaster · GitLab.

URL: <https://git.hpc.hse.ru/open-source/hpc-taskmaster>



Отдел суперкомпьютерного моделирования

HPC TaskMaster - система мониторинга эффективности задач на суперкомпьютере

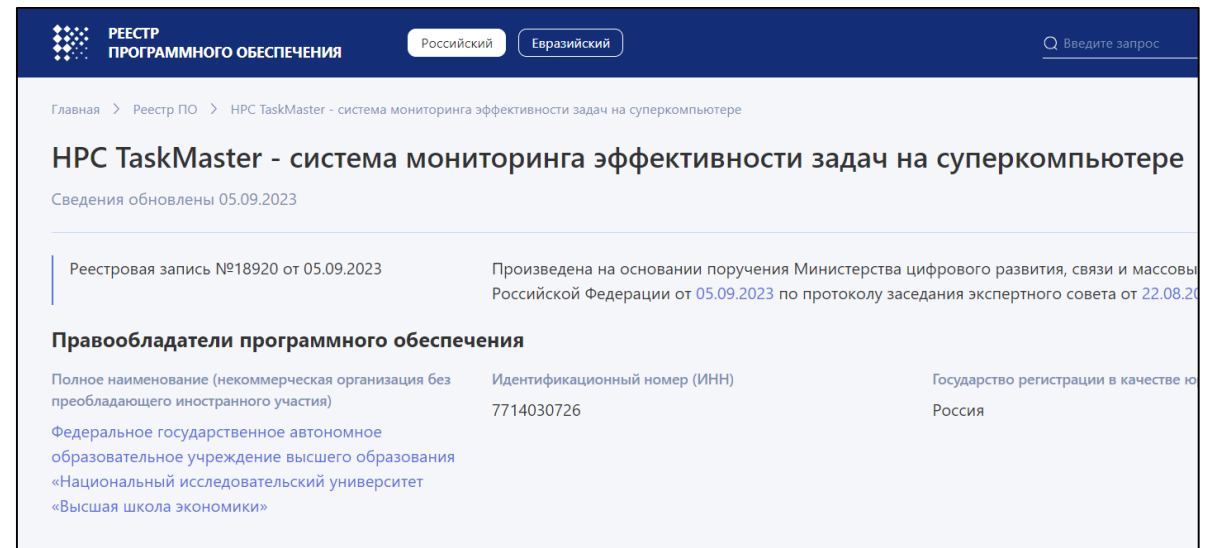
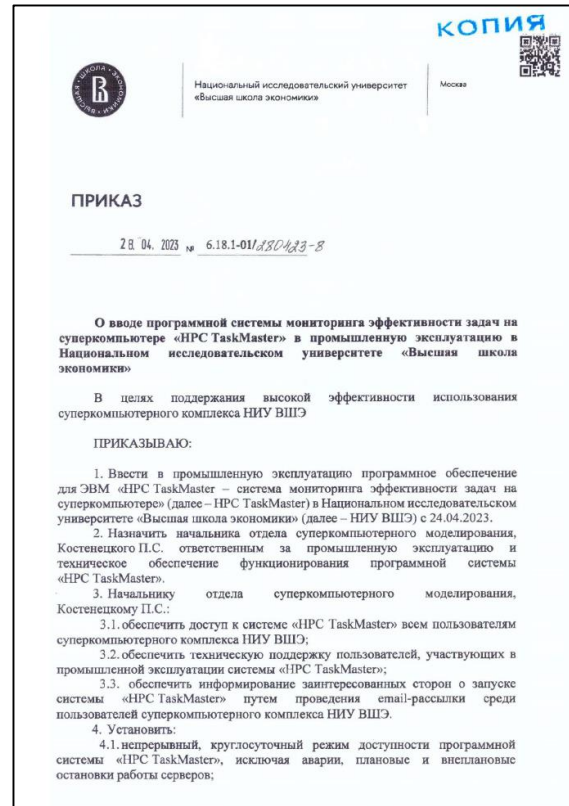
HPC TaskMaster

8

- Система HPC TaskMaster зарегистрирована Роспатентом
- Введена в промышленную эксплуатацию на суперкомпьютере cCHARISMa
- В сентябре 2023 г. программа вошла в Реестр отечественного ПО
- Позволяет освободить до 15% вычислительных ресурсов от неэффективных задач в пользу эффективных.



Открытый код системы HPC TaskMaster:
<https://git.hpc.hse.ru/open-source/hpc-taskmaster>



Семейство технологий NVIDIA GPUDirect

NVIDIA GPUDirect – семейство технологий, ускоряющее передачу данных между GPU на разных вычислительных узлах, широко используемое в суперкомпьютерах.

NVIDIA GPUDirect включает в себя несколько технологий:

- **GPUDirect Remote Direct Memory Access (RDMA)**: обеспечивает устройствам PCIe прямой доступ к памяти графического процессора.
- **GPUDirect Copy**: создает сопоставления памяти GPU с CPU.
- GPUDirect Peer to Peer (P2P): выполняет копирование с графического процессора на графический процессор, а также загружает и сохраняет данные непосредственно через структуру памяти.
- GPUDirect Storage: обеспечивает прямой путь передачи данных между локальным удаленным хранилищем.
- GPUDirect Video: предлагает оптимизированный пайплайн для устройств обработки кадров.

GPU Direct Remote Direct Memory Access (RDMA)

10

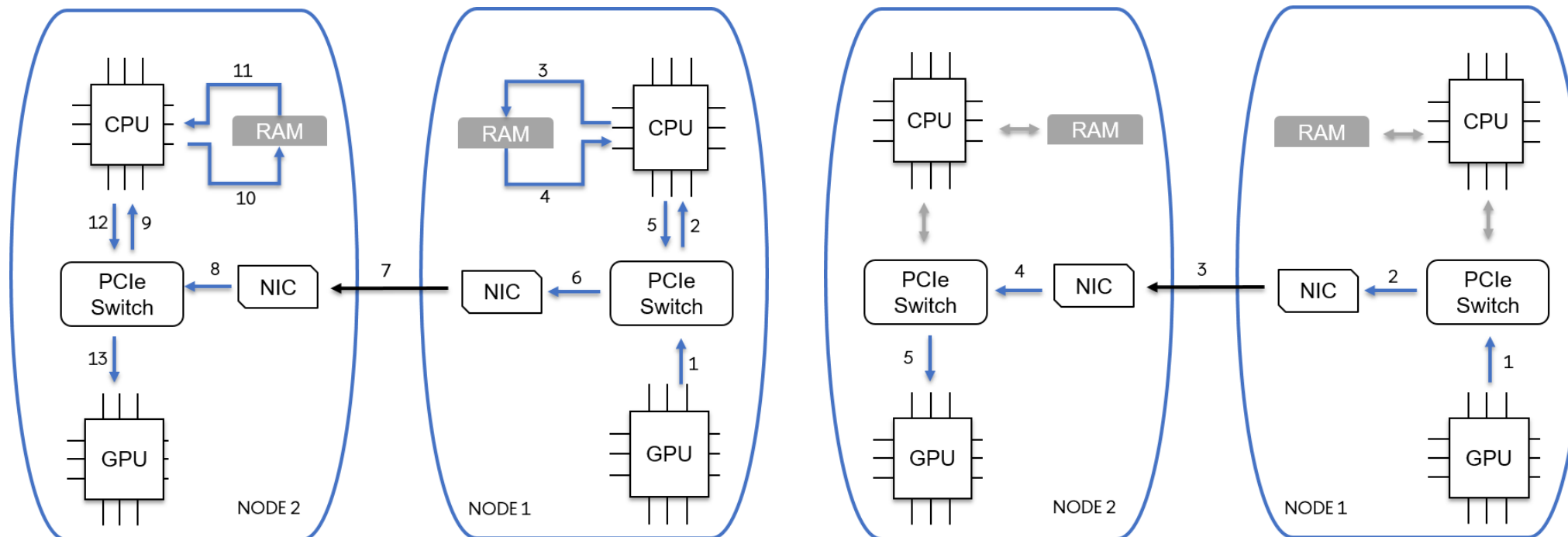


Рис. 1. Обмен данными между GPU без применения GDR

Рис. 2. Обмен данными между GPU с применением GDR

Технология *GPU Direct Remote Direct Memory Access* (GDR) предназначена для исключения центрального процессора и оперативной памяти из процесса обмена данными между GPU на разных вычислительных узлах.

На рис. 1 и рис. 2 показано сравнение процесса передачи данных между двумя GPU, расположенными на разных вычислительных узлах, в стандартном варианте и с применением технологии.



GPUDirect Copy

11

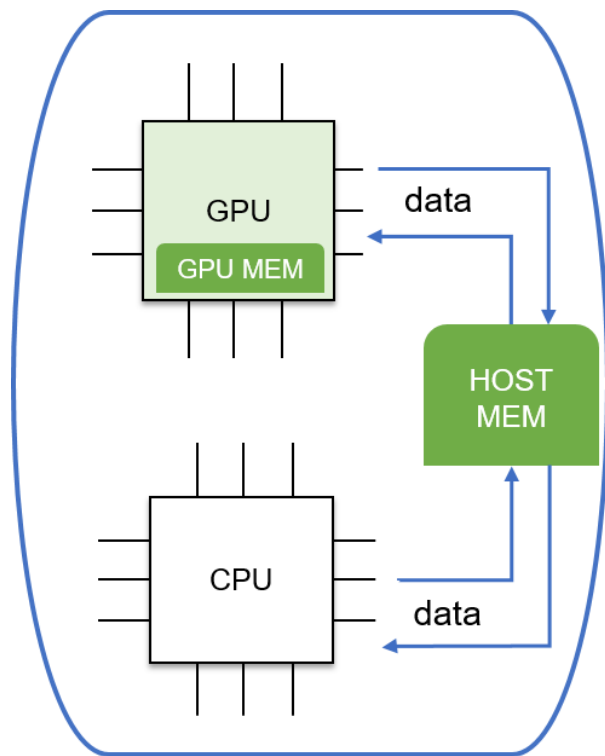


Рис. 1. Механизм работы с памятью через `cudaMemcpy` по умолчанию

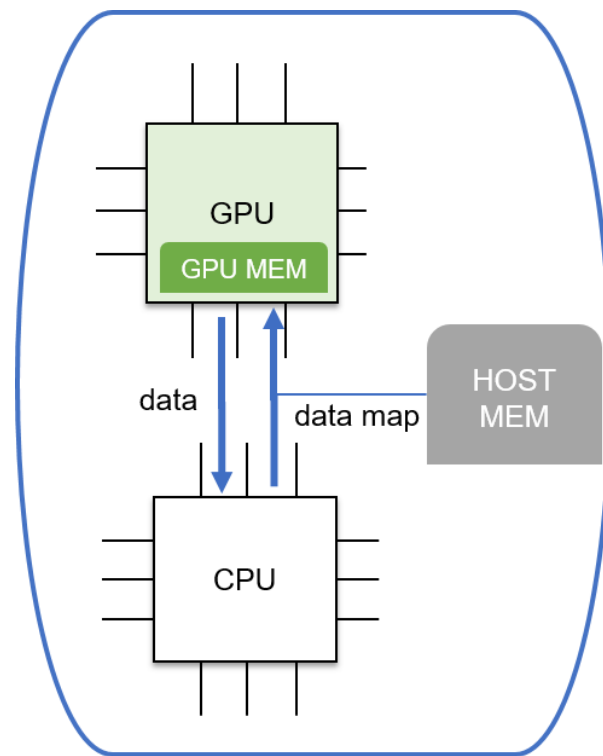


Рис. 2. Механизм работы с памятью через библиотеки GDRCLibrary

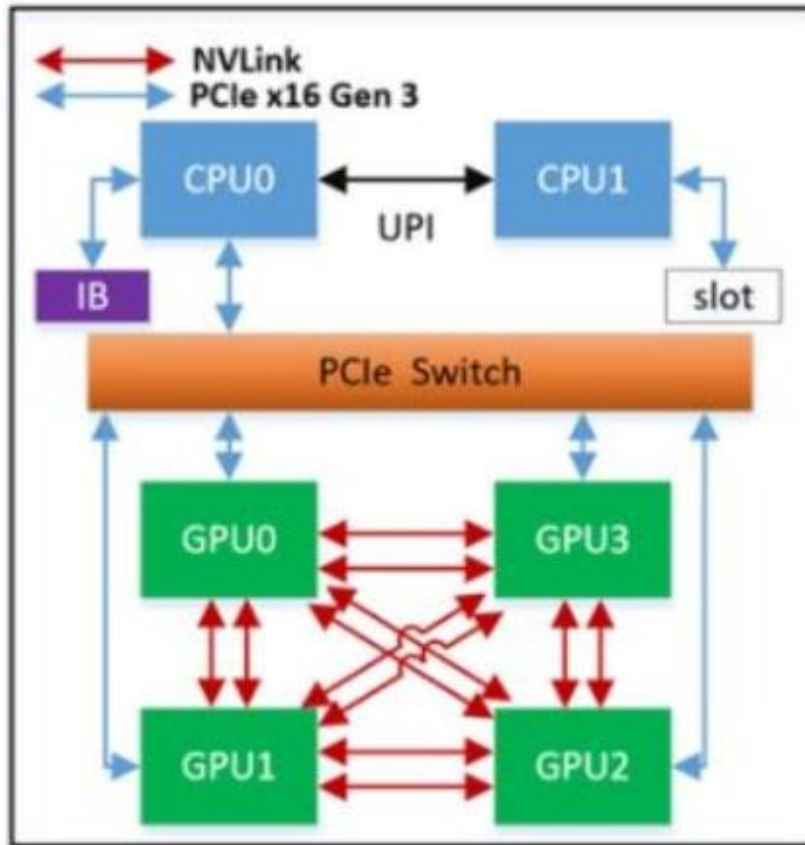
Технология *GPUDirect Copy* (GDRCLibrary) предназначена для создания сопоставлений памяти GPU с CPU (*CPU Mapping of the GPU Memory*).

На рис. 1 и рис. 2 показано сравнение использования стандартного механизма работы с памятью через `cudaMemcpy` и механизмов из библиотеки GDRCLibrary.



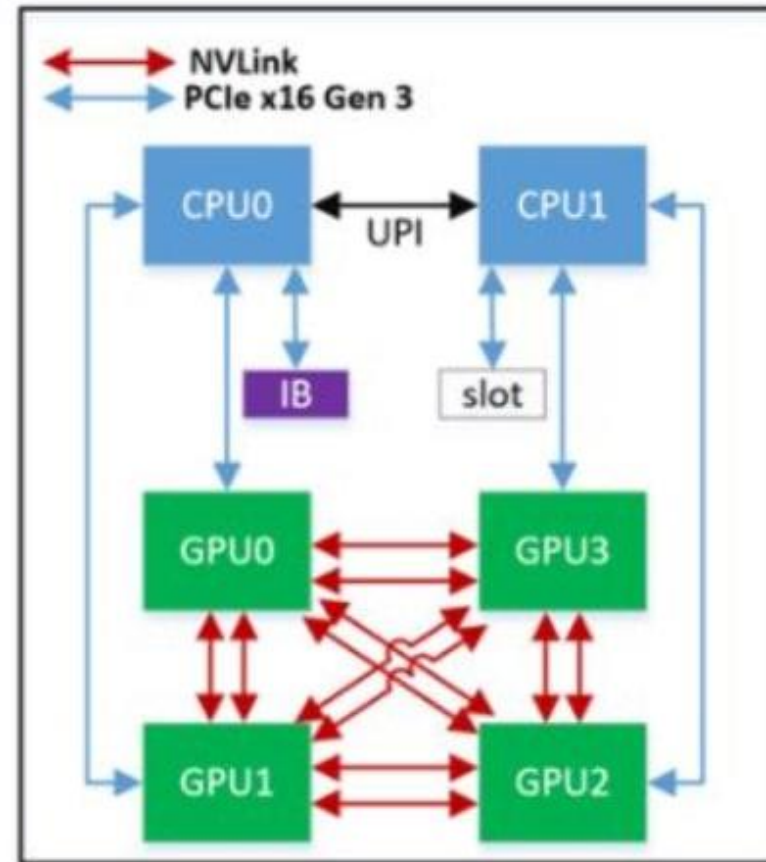
Архитектура вычислительных узлов и Type-A, B, C

Type-A, B



(a) Configuration K

Type-C



(b) Configuration M

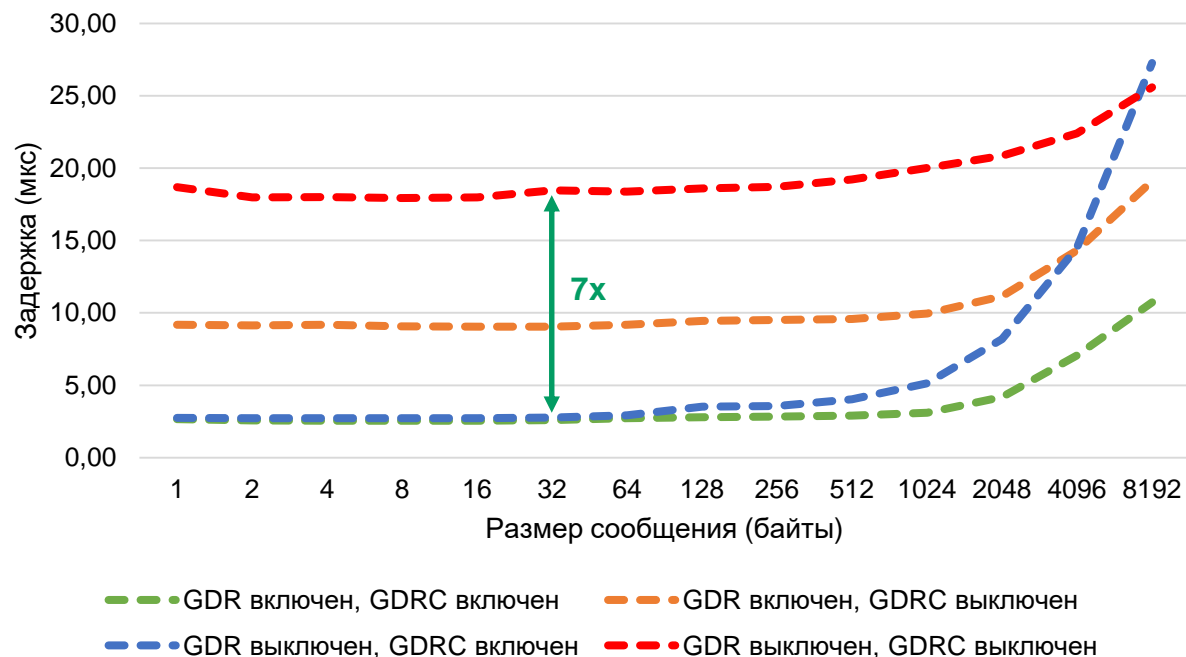
Figure 1: The comparison between configuration K and configuration M in C4140 server



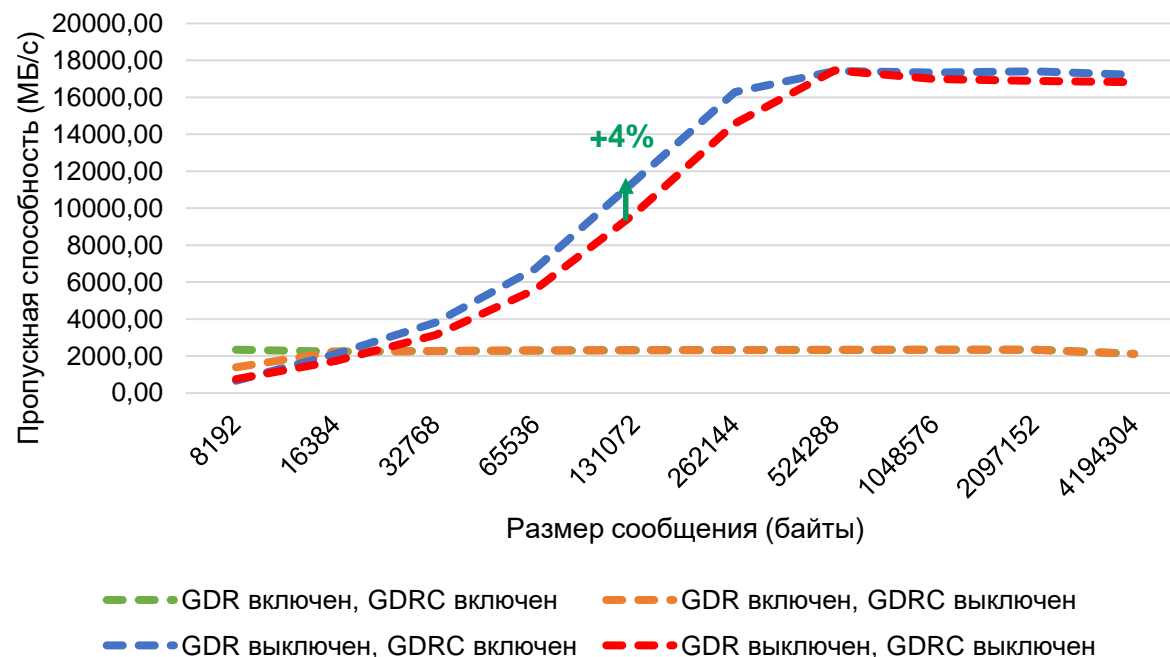
Результаты тестирования на узлах типа A/B

13

Задержка



Пропускная способность



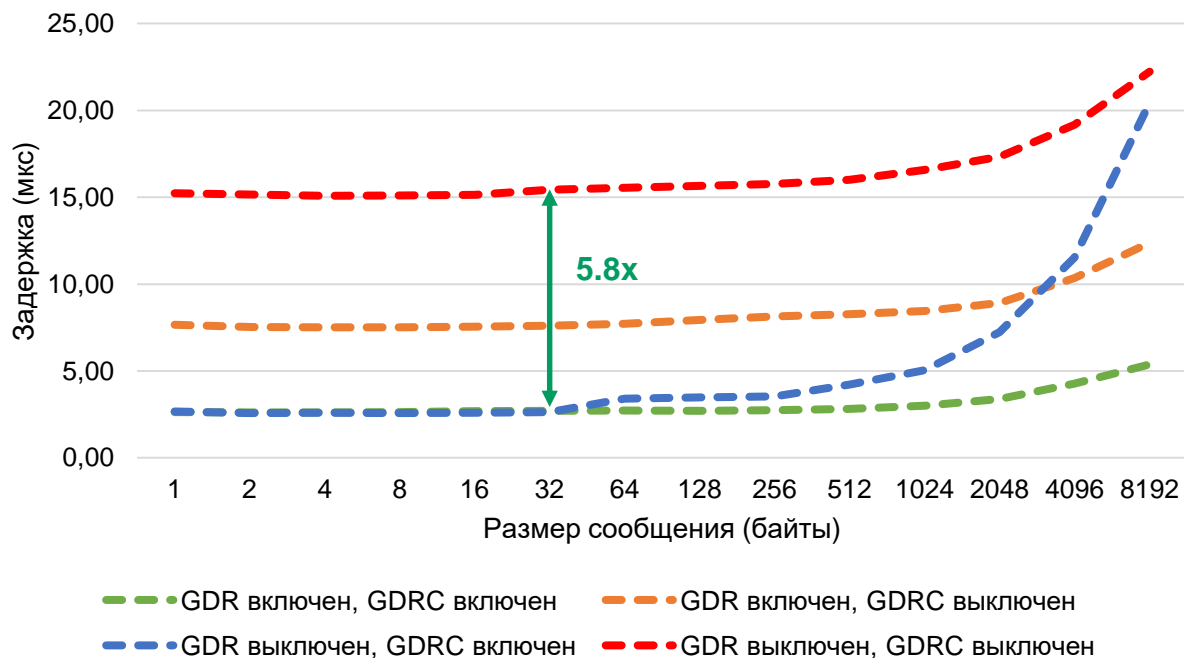
На узлах типа A/B задержка при передаче данных уменьшилась в 7 раз. Наибольший прирост эффективности этого показателя заметен при передаче небольших пакетов данных, размером до 32 байт. Включение GDR и GDRC на таких узлах даёт прирост пропускной способности на пакетах данных, размером до 16 КБ, но при увеличении размера пакета GDR значительно замедляет передачу данных.



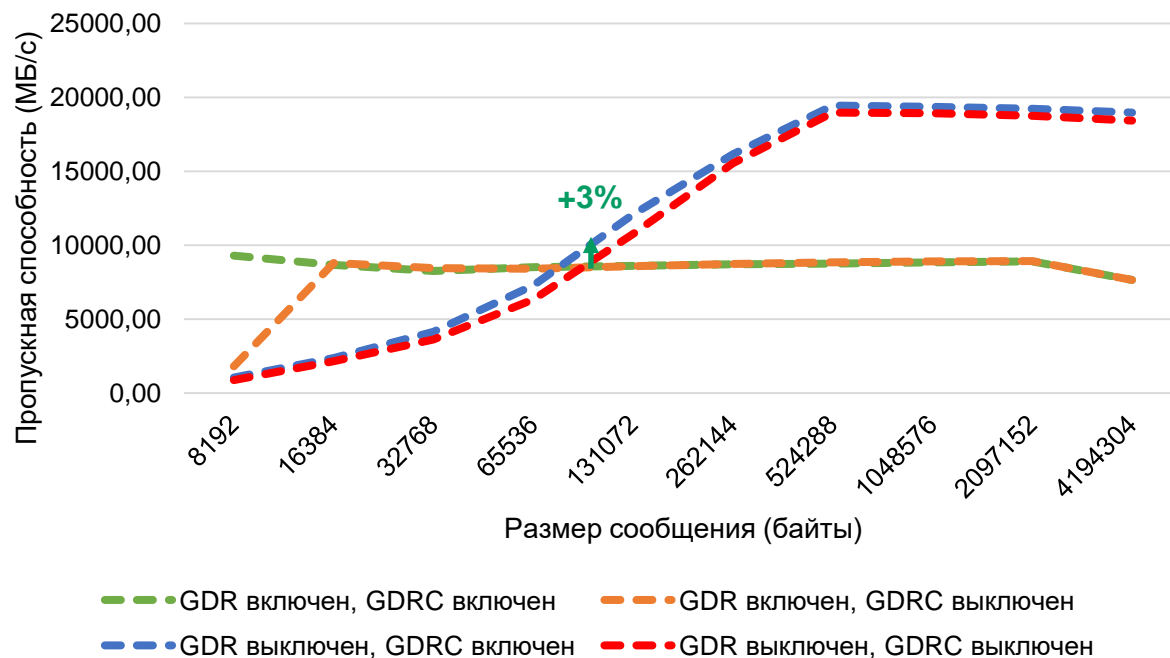
Результаты тестирования на узлах типа С

14

Задержка



Пропускная способность

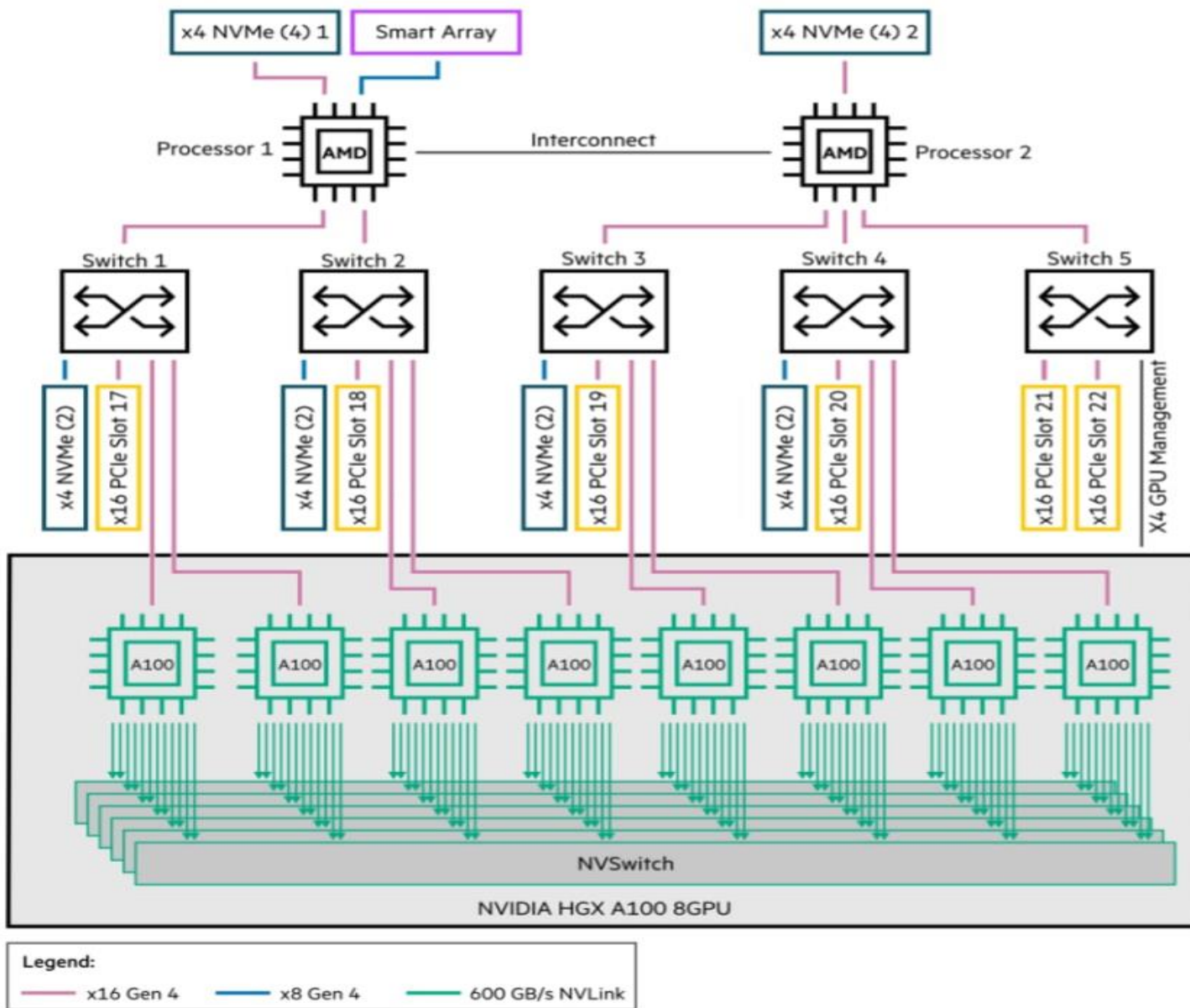


На узлах типа С задержка при передаче данных изначально ниже из-за более эффективной аппаратной архитектуры. После включения GDR и GDRC задержка уменьшилась в 5.8 раз. Наибольшее уменьшение задержки видно на небольших пакетах данных, размером до 32 Байт. В то же время, пропускная способность существенно ускоряется при размере пакетов от 64 КБ при включении GDRC и отключении GDR.



Архитектура вычислительных узлов Type-E

HPE ProLiant XL675d System Block Diagrams – Modular SXM GPU Configuration



NVIDIA HGX A100 8-GPU



HPE XL675d Gen10+

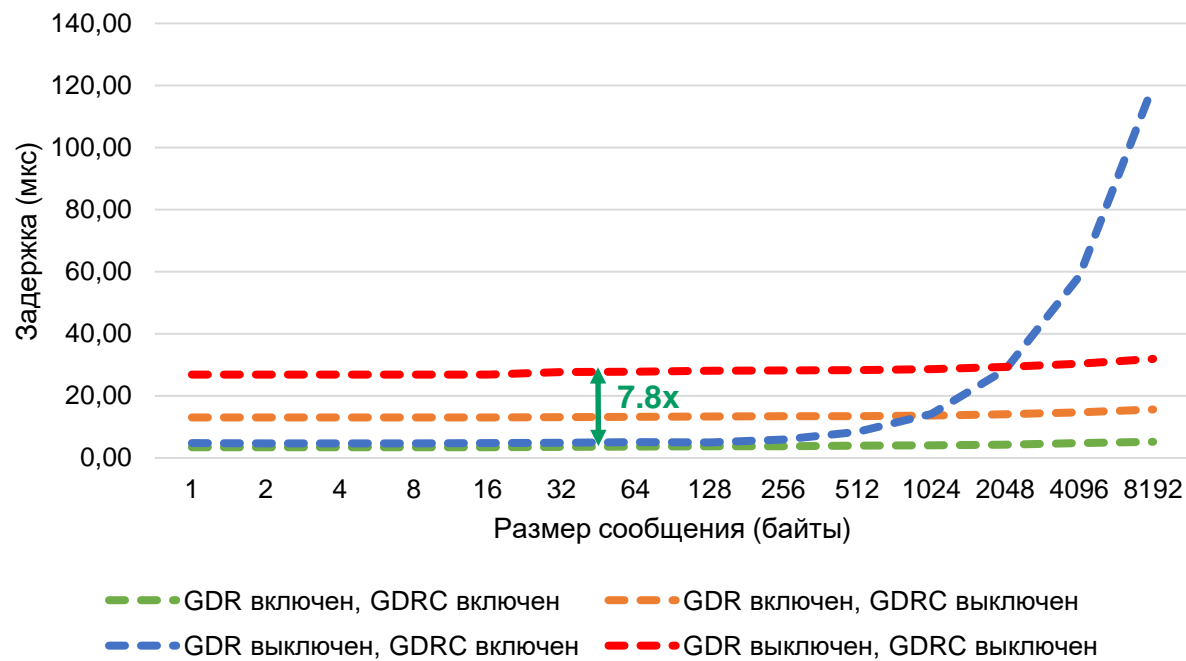




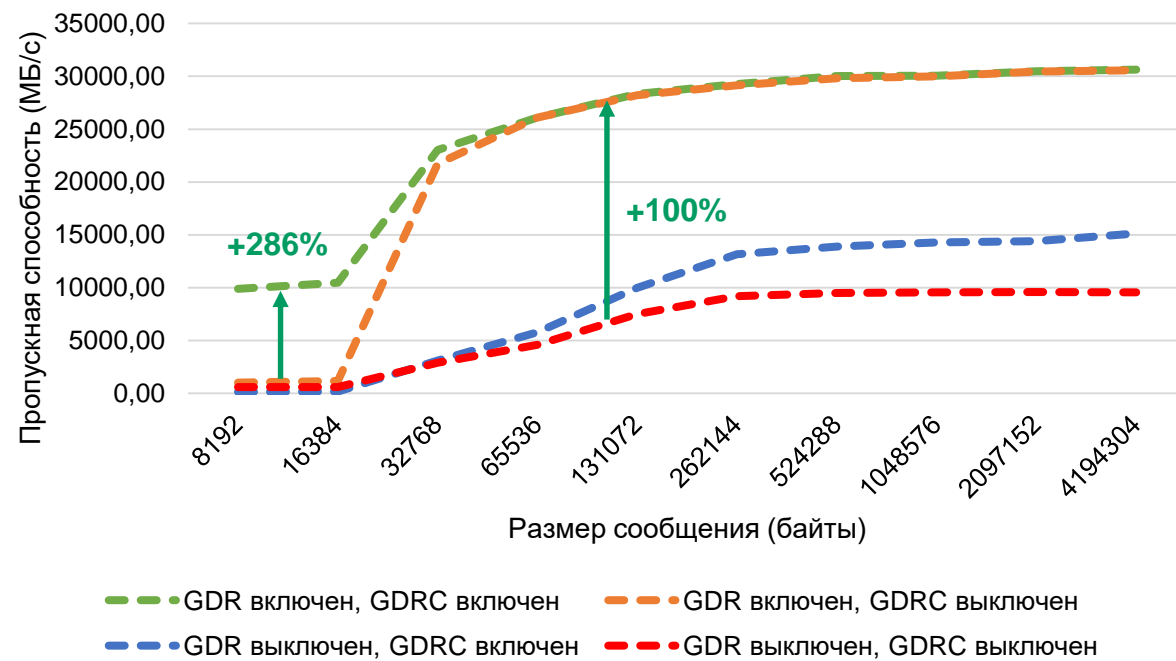
Результаты тестирования на узлах типа E

16

Задержка



Пропускная способность



На узлах типа E были получены наилучшие результаты применения технологий GDR и GDRC. Задержка при передаче данных уменьшилась в 7.8 раз. Увеличение пропускной способности составило до 286% на небольших пакетах данных и до 100% на пакетах данных размером более 64 КБ. Пиковая скорость передачи данных достигла 30 400 МБ/с (243,2 Гигабит/с bidirectional). Негативного влияния от включения сразу двух технологий (GDR и GDRC) на вычислительных узлах типа E замечено не было.

В Заключение

17

Оптимальным вариантом **для снижения задержки** на передачу данных в память GPU для всех типов узлов стало **совместное применение обеих технологий**: GDR и GDRC.

Что касается **пропускной способности**, лучшим вариантом для **узлов типов А/В, С** (Intel+4xV100) оказался вариант **с применением GDRC, но с отключением GDR**.

Для наиболее современных вычислительных **узлов типа Е** (AMD+8xA100) – наибольший эффект дало **включение обеих технологий**.

Производительность ПО, использующего GPU, **повысилась на 3%**.

Исходя из статистики расчетов с применением GPU на данном суперкомпьютере, такой прирост можно оценить как **высвобождение до 37 000 GPU-часов** машинного времени в год.
(4 GPU)