hYBRI | LIT/JINR

ЛАБОРАТОРИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
имени М.Г. Мещерякова

Распределённая параллельная файловая система Lustre для обработки и анализа данных экспериментов физики высоких энергий

Кокорев А.А., Беляков Д.В., Подгайный Д.В.,

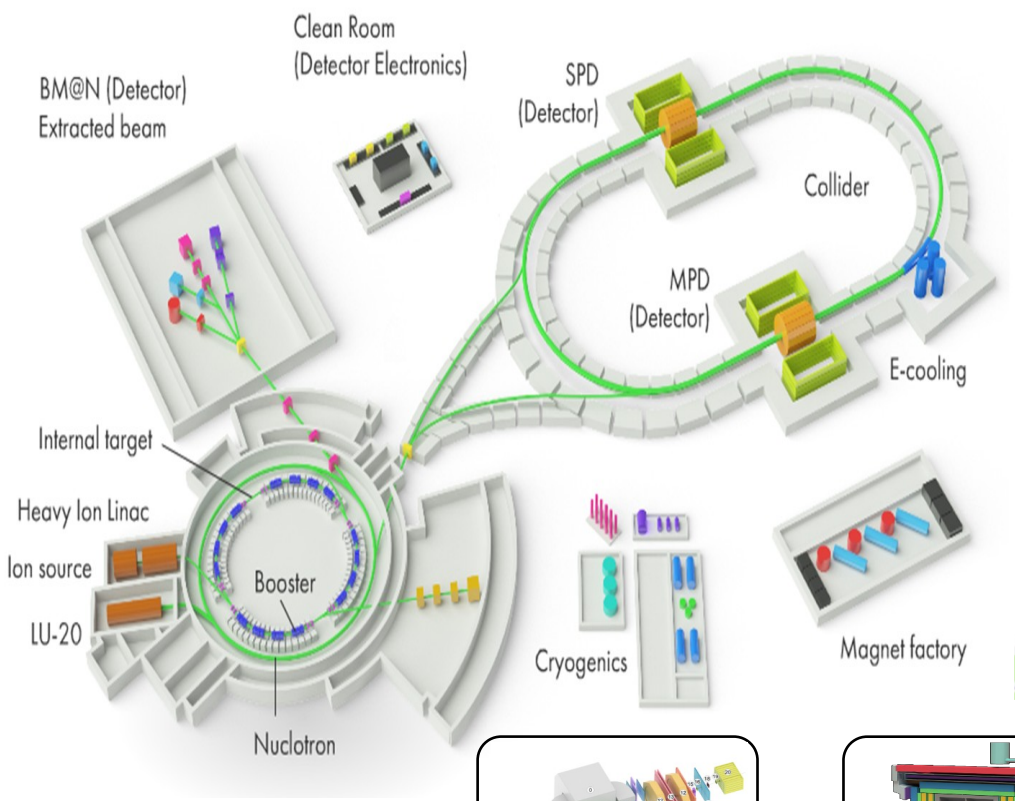
Мошкин А.А., Пелеванюк И.С.

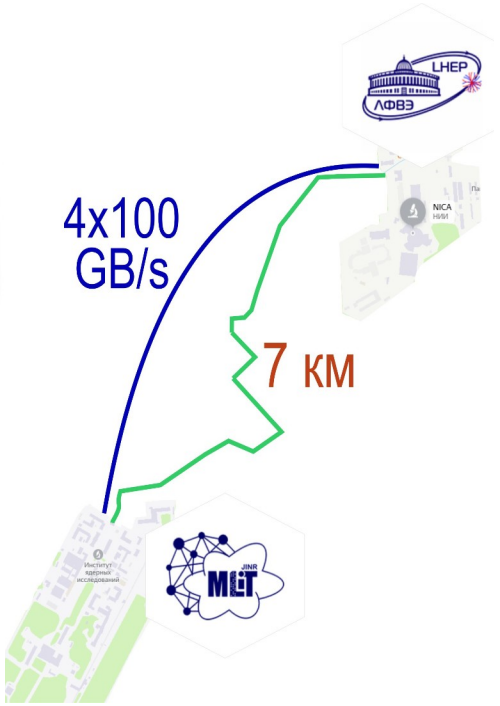
e-mail: kaa@jinr.ru

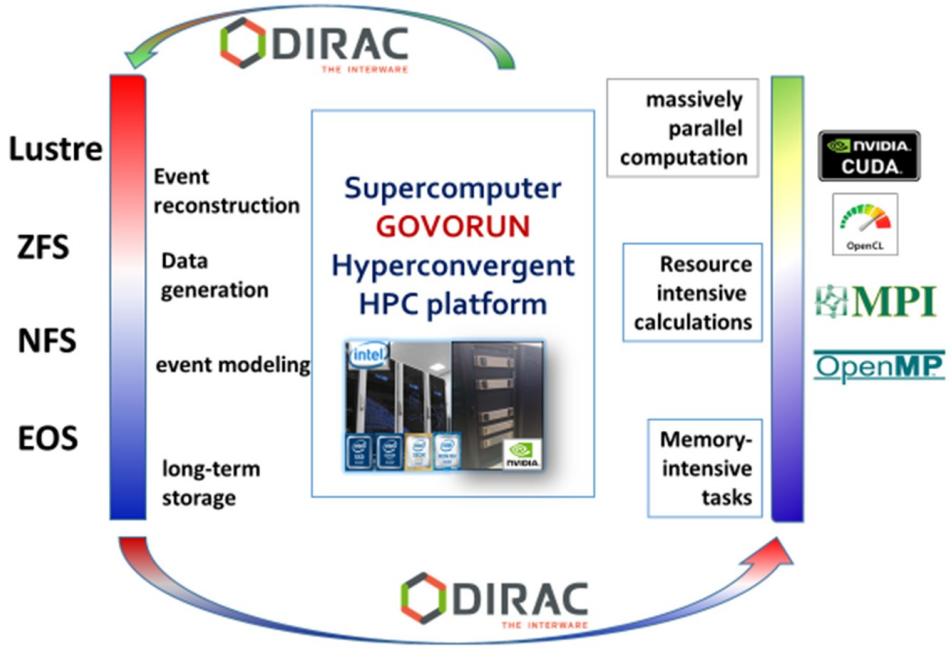
JINR

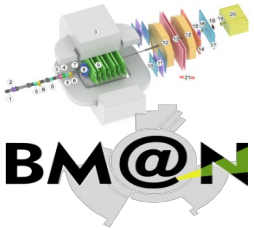
Russian Supercomputing Days 2024 International Scientific Conference
September 23, 2024

Nuclotron based Ion Collider fAcility



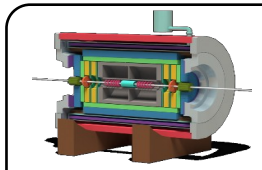






BM@N

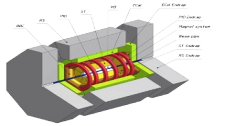
1 PB per year



MPD

Planned 20 PB per Year

Now MC generation, reconstruction and physical analysis ~ 6,2PB
Almost 10^9 events



SPD NICA

~ 20 PB

Суперкомпьютер «Говорун»

CPU компонента

- **21x сервер с Intel Xeon Phi**
  Intel Xeon Phi 7290 (72 cores @1.50 GHz), 96 GB RAM
- **76x серверов с Intel Xeon Scalable Gen2 (RSC Tornado TDN511)**
  2x Intel Xeon Platinum 8268 (24 Cores @2.90 GHz), 192 GB RAM
- **32x сервера с Intel Xeon Scalable Gen2 (RSC Tornado TDN511S)**
  2x Intel Xeon Platinum 8368Q (38 Cores @2.60 GHz), 2 TB RAM

Пиковая производительность

1.7 PFLOPS двойной точности

3.4 PFLOPS одинарной точности

Система хранения

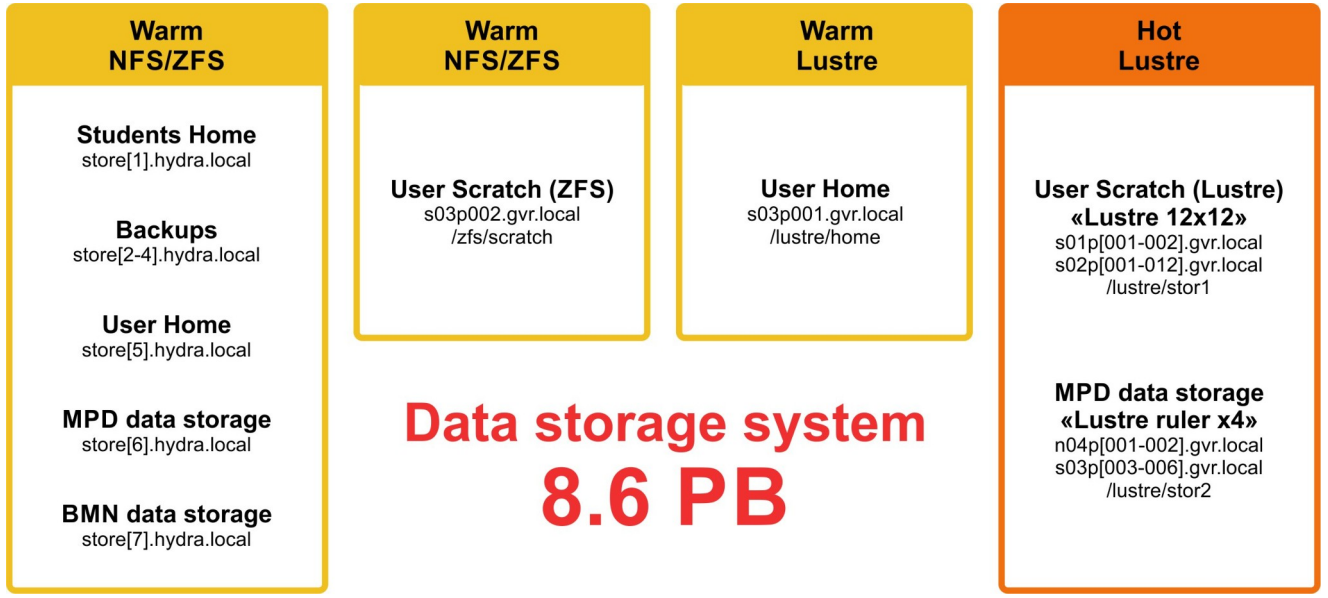
8.6 PB

GPU компонента

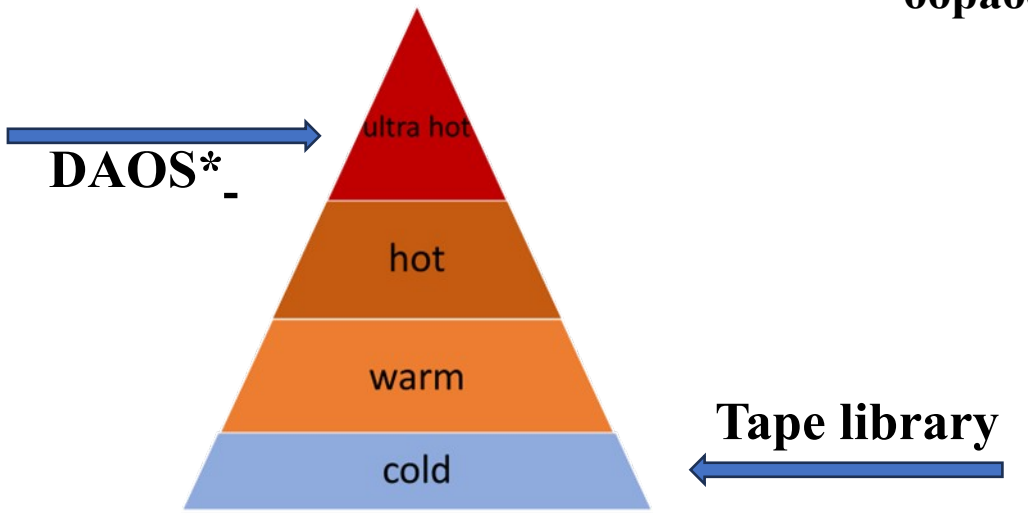
- **5x серверов с NVIDIA V100**
  2x Intel Xeon E5-2698 v4 (20 cores @2.20 GHz),
  8x NVIDIA V100 16 GB, 512 GB RAM
- **5x серверов с NVIDIA A100**
  2x AMD EPYC 7763 (64 Cores @2.45 GHz),
  8x NVIDIA A100 80 GB, 2 TB RAM

26 PFLOPS половинной точности

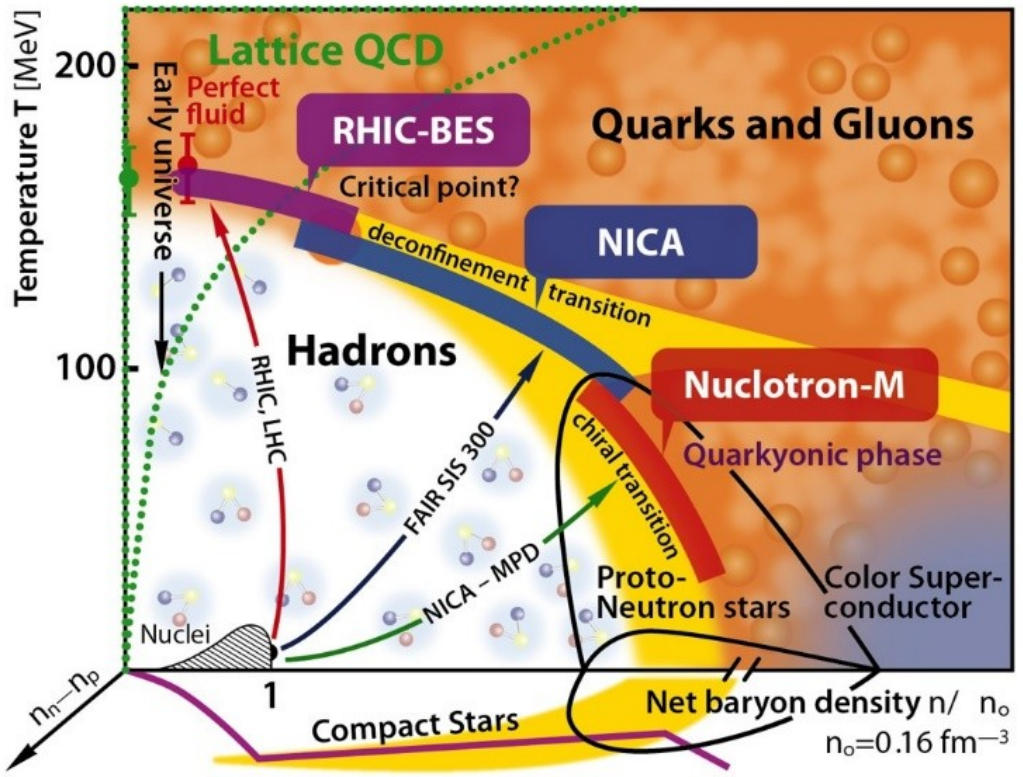
Система хранения и обработки данных гетерогенной платформы HybriLIT

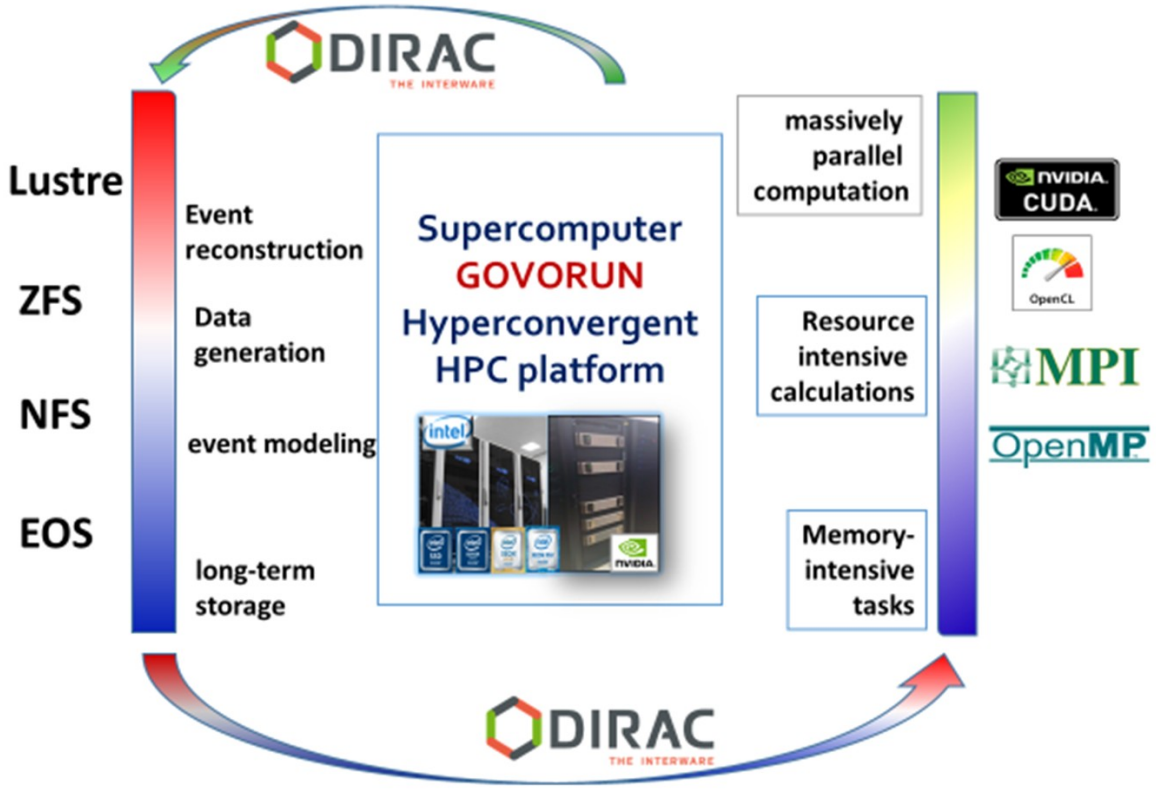


Задачи, решаемые на суперкомпьютере «Говорун», требует не только больших вычислительных ресурсов, но и привлечения различных технологий для работы с данными, в том числе применения высоко-скоростной внутренней сети с низкой латентностью между компонентами гетерогенной платформы (100 Gbit/sec или выше), а также различных типов систем хранения данных (от "холодных" до "горячих") в соответствии с процедурами обработки входных и выходных данных.



Phase Diagram of Hadron Matter





Важнейшие проблемы в изучении свойств адронной материи:

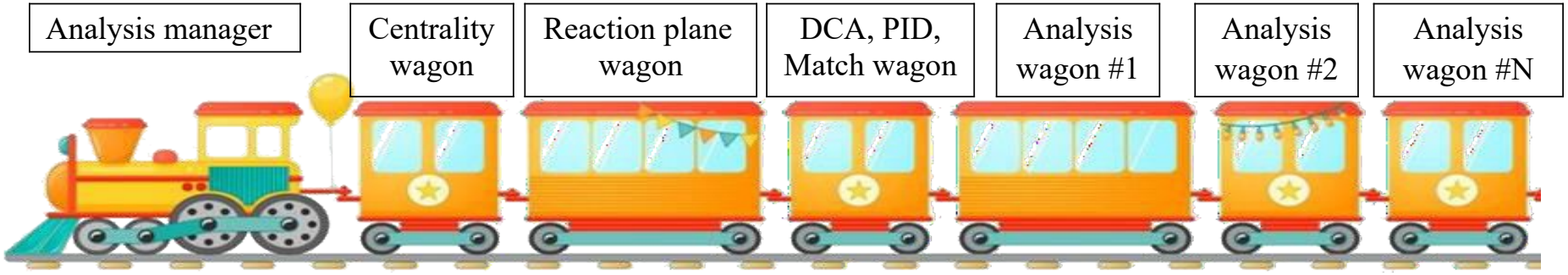
- Природа и свойства сильных взаимодействий между элементарными составляющими Стандартной модели физики элементарных частиц – кварками и глюонами.
- Поиск признаков фазового перехода между адронной материей и КГП; поиск новых фаз барионной материи.
- Исследование основных свойств вакуума сильного взаимодействия и симметрий КХД.

Ресурсы СК «Говорун» используются на всех этапах реализации экспериментов на ускорительном комплексе NICA – от фундаментальных теоретических исследований до обработки экспериментальных данных.

Обработка больших наборов данных для эксперимента MPD

- Централизованная аналитическая архитектура для доступа и анализа данных → «Поезда анализа», преимущества:
  - ✓ единообразие подходов и результатов совместной работы групп физического анализа,
    более простое хранение и совместное использование программных кодов и методов.
  - ✓ сокращение количества операций ввода-вывода для дисков и баз данных.

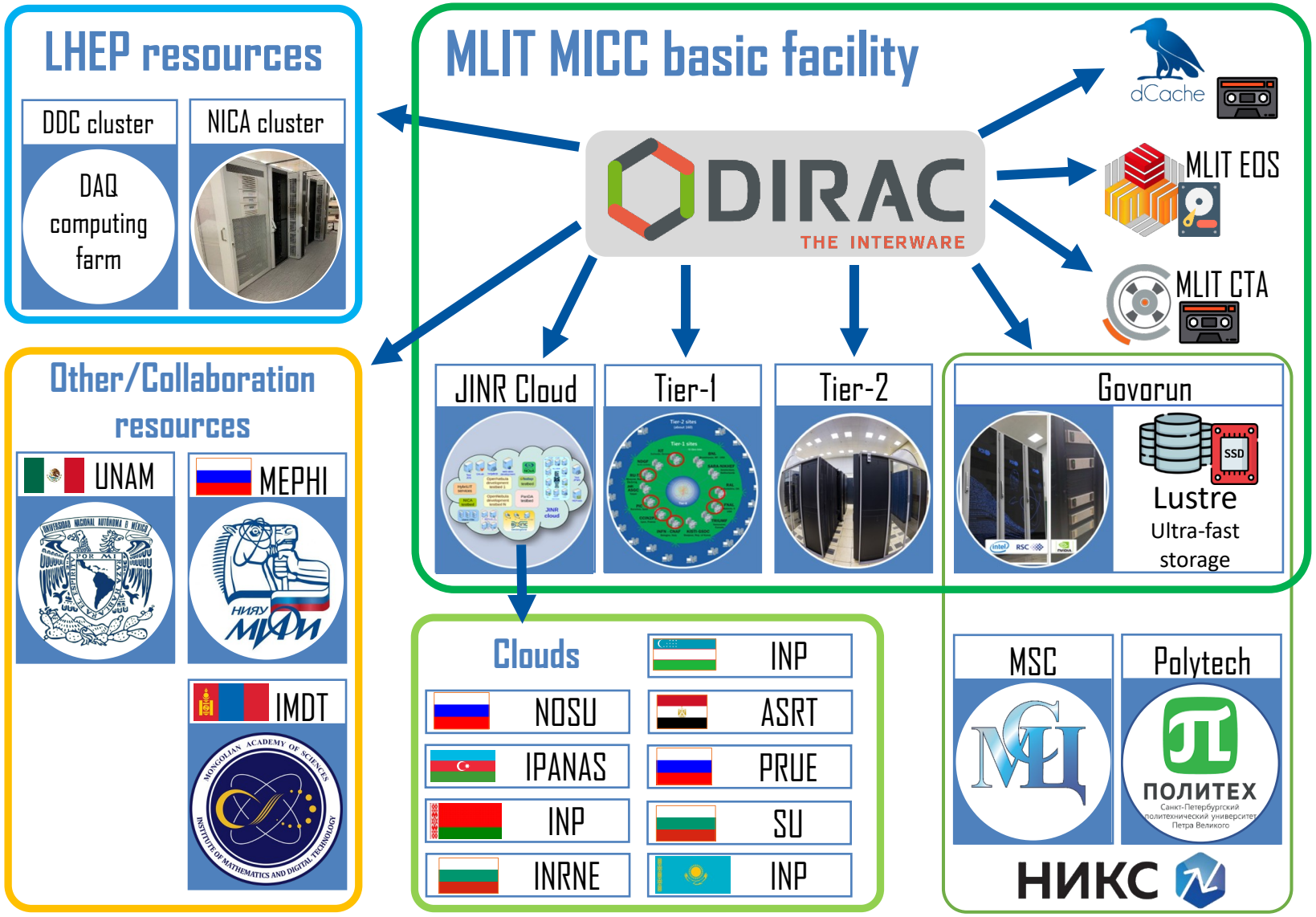
- Менеджер анализа считывает события в память и вызывает вагоны один за другим для изменения и/или анализа данных:



- Первые запуски анализа по этой схеме произошли в сентябре 2023 г. → с тех пор осуществляются «регулярные рейсы» по запросу групп физического анализа данных коллаборации MPD.
- Поезду требуется ~ 12 часов (на СК «Говорун») для обработки 50 млн. событий для 10-15 вагонов.

- По такой схеме, для анализа планируемой физической программы проекта, за 10 запусков были оценены 83 сценария анализа и обработаны 530 млн. моделированных событий коллаборации MPD.

Dirac resources



- GOVORUN up to 4864 cores in last production
- NICA offline cluster 1000 cores(limit for users)
- Tier1 1500 cores
- Tier2 1000 cores
- Clouds (JINR and JINR Member States)~500 cores
- UNAM (Mexico University) 100 cores
- National Research Computer Network of Russia (now resources from SPBTU and JSCC) 672 cores – New resource, added in 12.2021.

All software packages are centrally stored in /cvmfs and are available on all computing clusters

Распределенные файловые системы

В ОИЯИ в настоящий момент используются распределенные файловые системы:

- EOS (ЦЕРН), dCACHE (DESY, больше не поддерживается) и CEPH (для облаков).

Общие недостатки – медленные, не позволяют запускать задачи HPC, не позволяют работать с ML/DL

Текущий воркфлоу:

Планируемый воркфлоу:

Проблема миграции данных между разными вычислительными кластерами

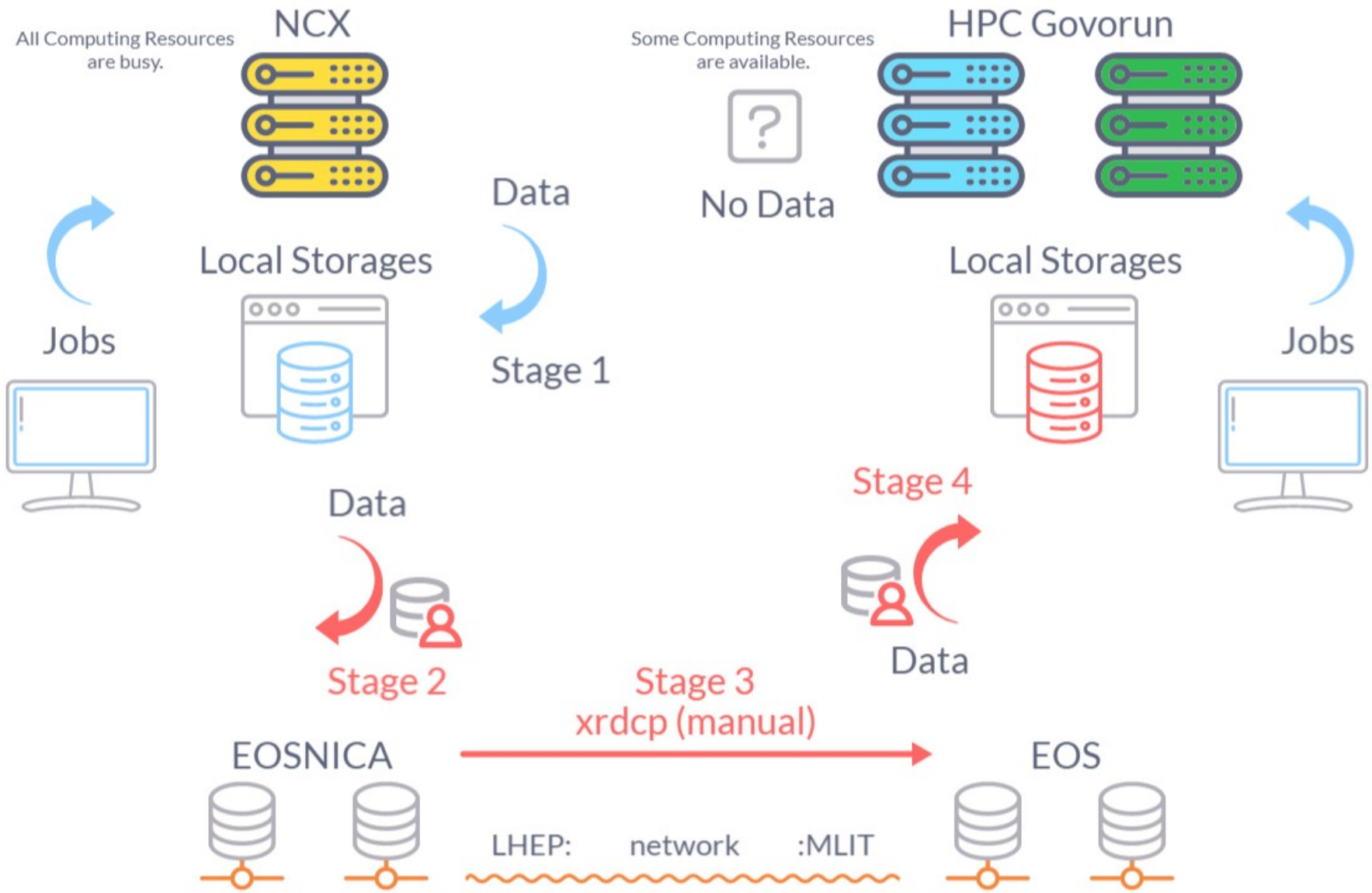
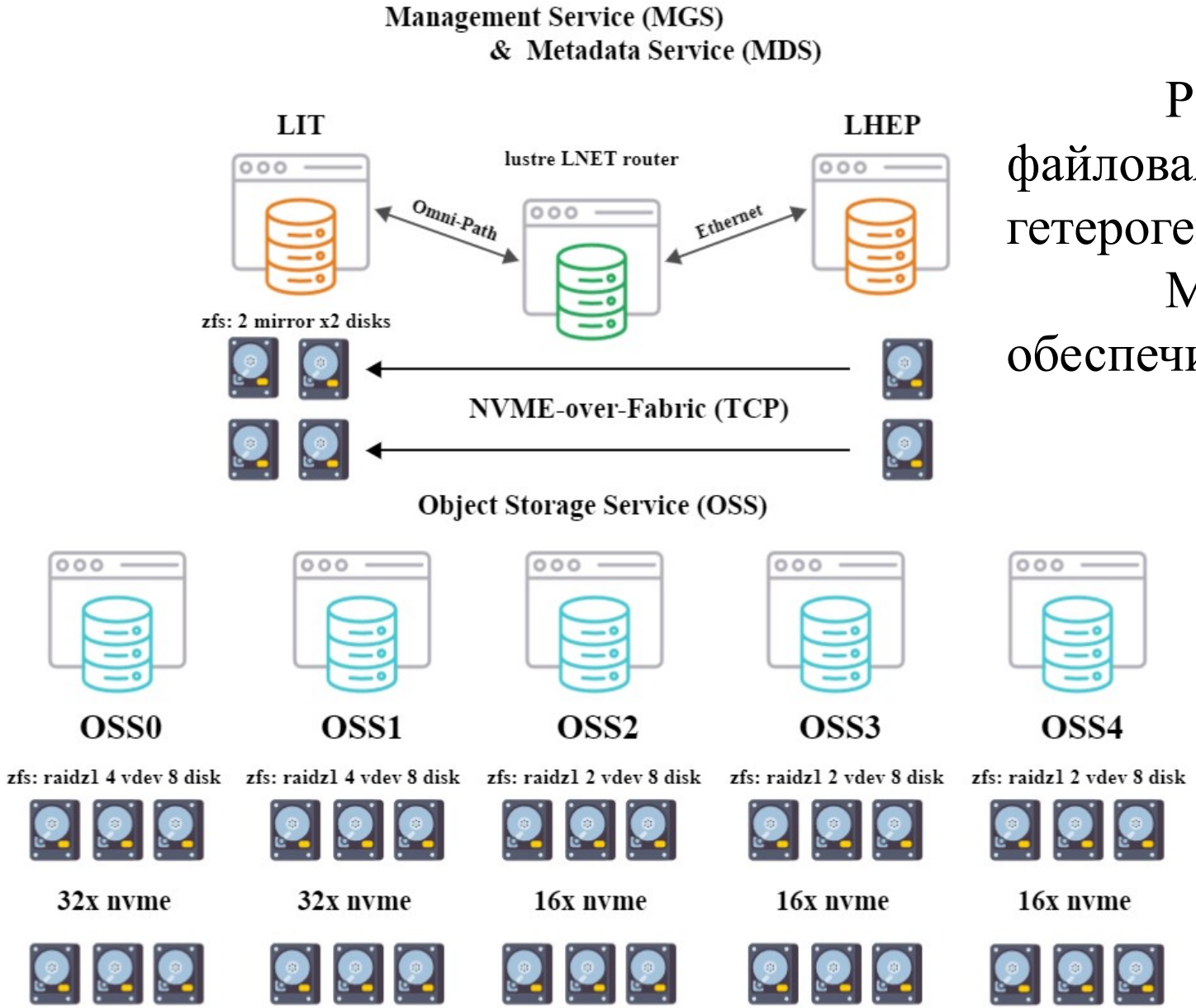


Схема реализации распределенной параллельной файловой системы Lustre

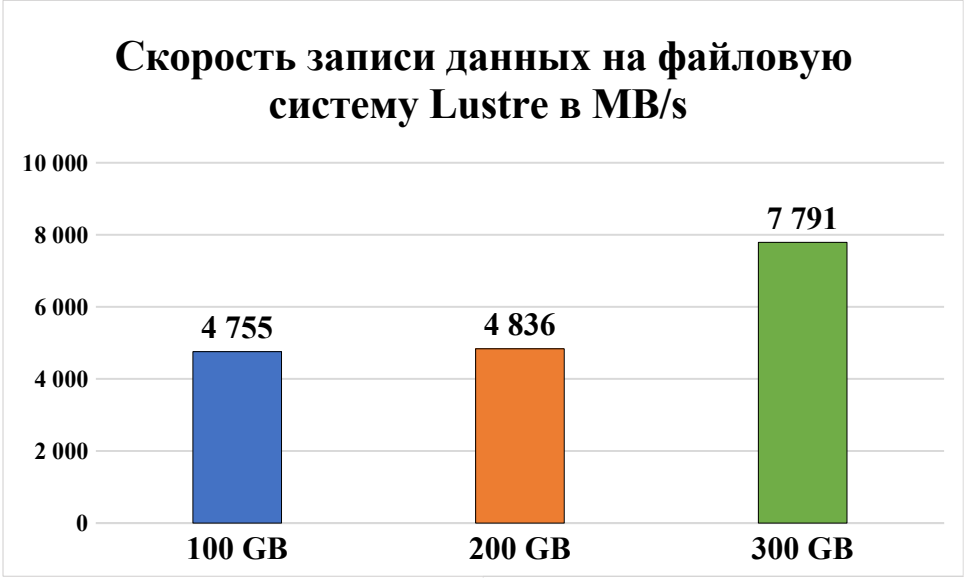


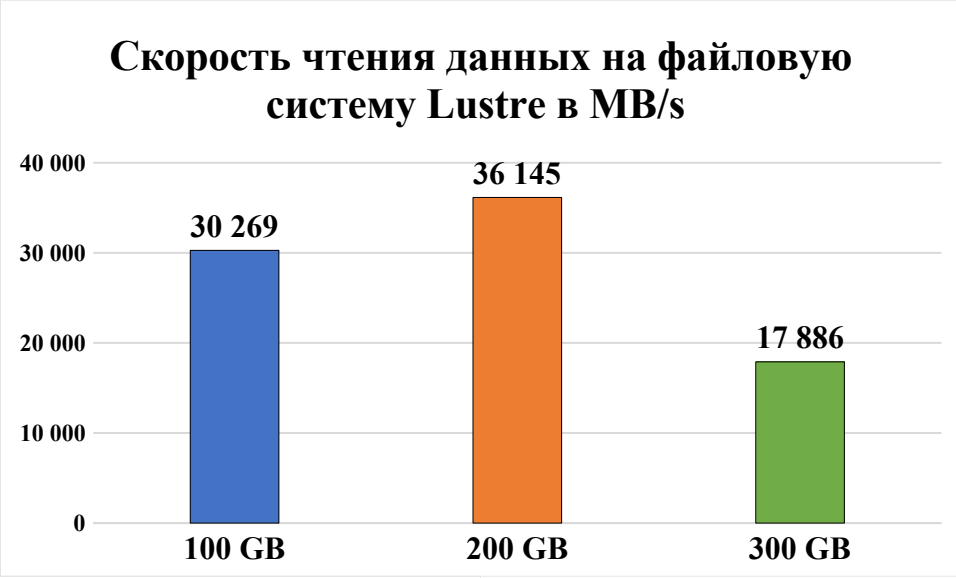
Распределенная параллельная файловая система Lustre включает в себя два гетерогенных сетевых сегмента.

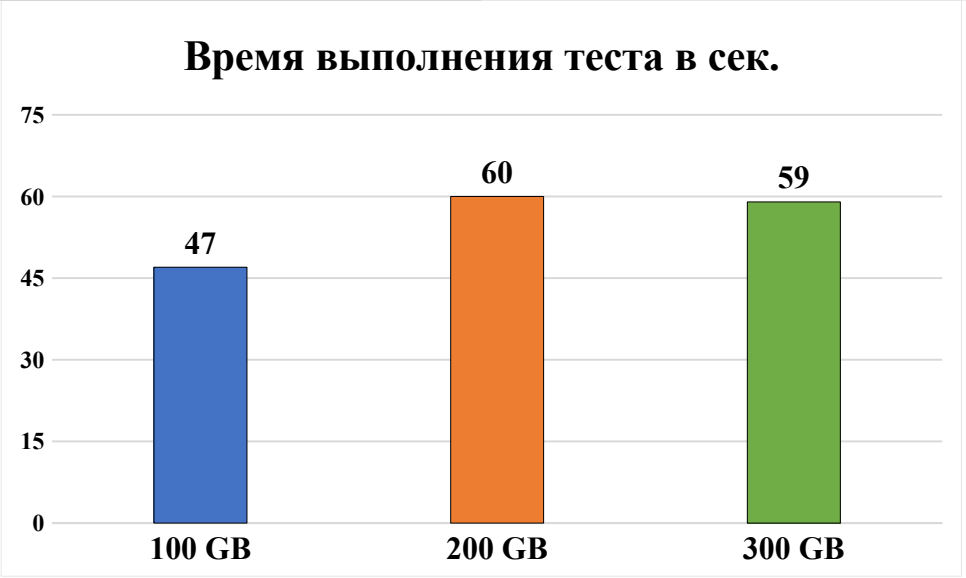
Маршрутизацию между которыми обеспечивает Lustre LNet router.

2.1 PB

Синтетический тест распределенной параллельной файловой системы Lustre







Тестирование Lustre

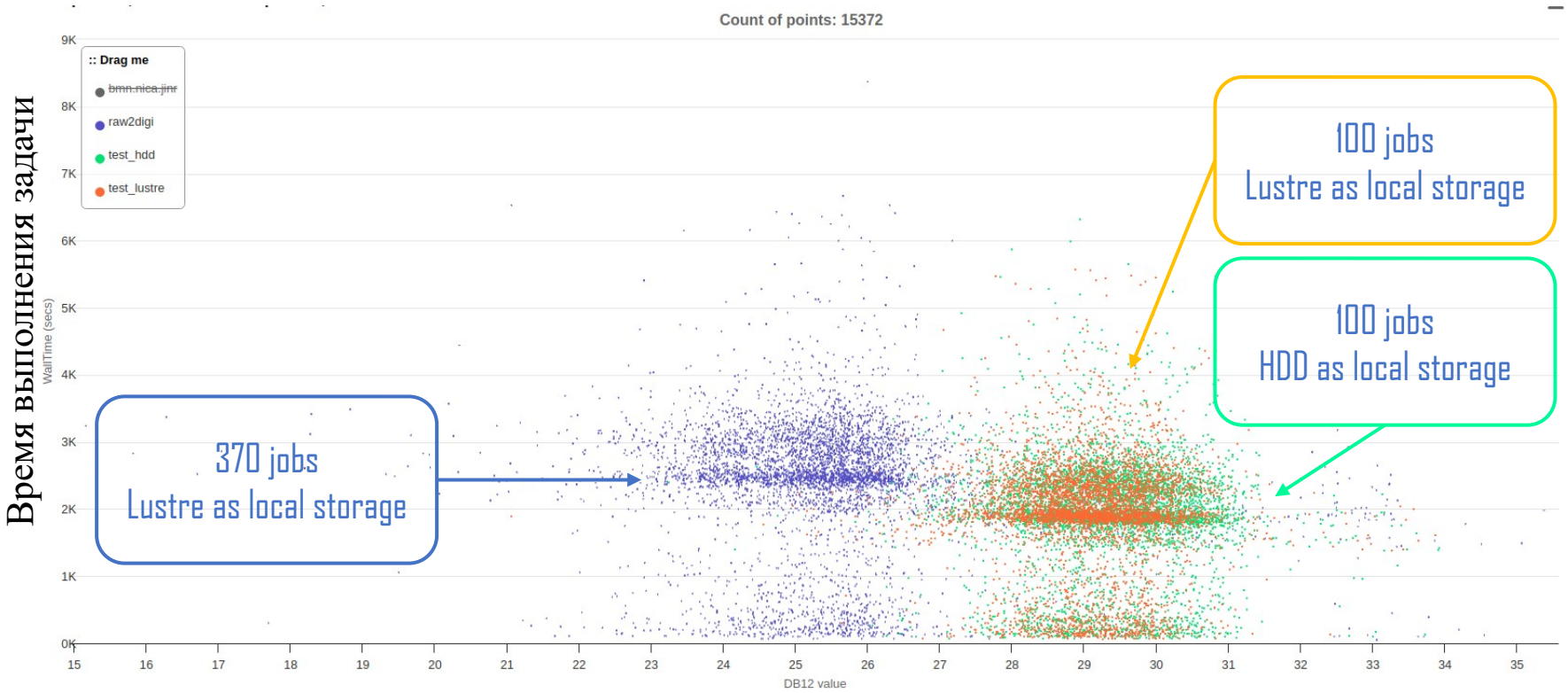
Задачи обработки данных эксперимента BM@N были выбраны для функционального теста построенной системы. На данный момент эти задачи, с точки зрения работы с данными, являются самыми интенсивными. Описание процесса выполнения этих задач приведено в таблице:

	Step 1 Data load	Step 2 Processing	Step 3 Processing	Step 4 Data Upload	Total
Duration	150 s	600 s	1800 s	10 s	2560 s
CPU load	0	100 %	100 %	0	2400 s
Disk Write (GB)	15	7	1	0	23 GB
Disk Read (GB)	0	15	15	1	31 GB
Network in (GB)	15	0	0	0	15 GB
Network out (GB)	0	0	0	1	1 GB

Каждая задача требует около 23 ГБ локального хранилища. Из-за этого невозможно зачатую использовать все доступные на сервере ядра. NCX кластер обладает ограниченным количеством дискового пространства, что не позволяет загружать его ядра задачами обработки данных BM@N более чем на 27%.

Тестирование Lustre

Как задачи выполняются на NCX кластере.



Значение бенчмарка ядра в условных единицах

1. Задачи работают на HDD. CPU load ~27 %.

2. Задачи работают на Lustre. CPU load 100%. Наблюдается замедление.

3. Задачи работают на Lustre. CPU load ~27%. Производительность такая же как на HDD.

Тестирование Lustre

Статистический анализ данных

Название теста (cores_storage)	Средняя длительность задачи	Средняя скорость ядра (относительно 100_hdd)	Скорость кластера (относительно 100_hdd)
100_hdd	1900 s	1.0	1.0
100_lustre	1908 s	0.996	0.996
370_lustre	2390 s	0.798	2.954

При использовании всех ядер бенчмарк каждого ядра падает с 29.5 до 25 (- 15%). Если говорить о времени выполнения задач, то при использовании Lustre мы наблюдаем увеличение времени на 20%. Таким образом мы считаем, что при 370 одновременно работающих задачах, использование Lustre замедляет задачи лишь на 5%. И это при том, что суммарный поток данных во время работы задач примерно 3 ГБ/с на запись и 4 ГБ/с на чтение.

Не смотря на накладные расходы, созданная система позволила ускорить процесс выполнения пакета задач в 3 раза!

Особенности реализации

- Настройка High Availability для управляющих серверов (MGS/MDS) и серверов хранения данных (OSS).
- Реализация протокола NVMe-over-Fabric (TCP).
- Настройка Lnet router для гетерогенных сетевых сегментов (Ethernet, Omni-Path).
- Настройка LNet сервиса (конфигурирования).
- Выбор оптимальной конфигурации ZFS пулов для серверов хранения данных (OSS).

Преимущества данной реализации распределенной файловой системы Lustre:

- Возможность проводить расчеты на разных вычислительных ресурсах без переноса данных между кластерами.
- Высокая производительность выполнения счетных задач с интенсивными Input/Output операциями на систему хранения данных.
- Возможность пользователя выбирать сервер хранения (OSS), количество реплик данных, количество разбиений файла на части (chunks) для ускорения работы с файлом (работа в режиме RAID).

Спасибо за внимание!!!