



JINR  
ASSOCIATION  
OF YOUNG SCIENTISTS  
AND SPECIALISTS

# 28<sup>th</sup> International Scientific Conference of Young Scientists and Specialists

**AYSS**  
28.10-01.11  
**2024**

## Digital twins for solving management and development tasks of distributed computer systems for megascience projects

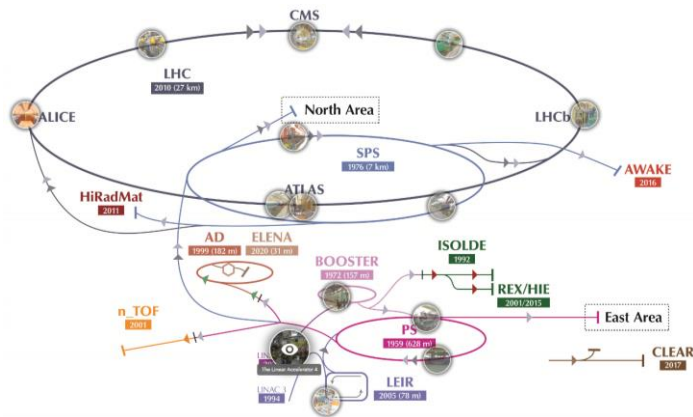
**DARIA PRIAKHINA**

Meshcheryakov Laboratory of Information Technologies  
Joint Institute for Nuclear Research

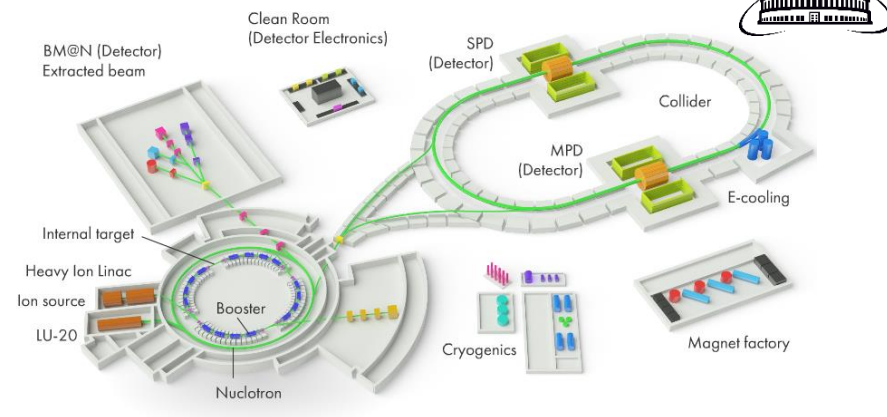
28.10.2024

# Modern scientific research and megascience experiments

The CERN accelerator complex (Switzerland)



Nuclotron-based Ion Collider Facility (NICA, JINR, Dubna, Russia)



Beijing Electron Positron Collider (BEPC, China)

These and many others...

High Energy Photon Source project (HEPS, China)



# Modern scientific research and megascience experiments

The CERN accelerator complex  
(Switzerland)

Nuclotron-based Ion Collider fAcility  
(NICA, JINR, Dubna, Russia)



**... need large-scale computing systems to store large amounts of data and process them in a relatively short time!**



Beijing  
Positron  
Collider  
(BEPC,  
China)

These and  
many others...

Source  
project  
(HEPS,  
China)



# Distributed data acquisition, storage and processing centers (DDC)



Data Center



Institute of High Energy Physics  
Chinese Academy of Sciences



- Geographically distributed infrastructure.
- Large-scale systems.
- Designed to work with extremely large amounts of data.
- Consists of various types of resources.
- Collective shared access to data storage and processing resources.

# Distributed data acquisition, storage and processing centers (DDC)

**Important!**

The systems must guarantee high-quality and efficient operation.

How to ensure design, continuous improvement and scaling of DDC?



Data Center



Institute of High Energy Physics  
Chinese Academy of Sciences



# Distributed data acquisition, storage and processing centers (DDC)



**Important!**

The systems must guarantee high-quality and efficient operation.

Data Center



Institute of High Energy Physics  
Chinese Academy of Sciences

Problem-oriented management and decision-making systems.

Solving management and development tasks.



Priakhina D., Korenkov V. *The relevance of creating a digital twin for managing distributed centers for collecting, storing and processing data // Modern Information Technologies and IT-Education, Vol. 19, No 2, pp. 262-271, 2023. – ISSN:2411-1473.*

# Distributed data acquisition, storage and processing centers (DDC)



## Important!

The systems must guarantee high-quality and efficient operation.

- Modeling of complex computing systems.
- Describes the system.
- Reflects the processes taking place in the system.
- Testing of the system with different variants of equipment parameters, data flows and jobs.



Priakhina D., Korenkov V. *The relevance of creating a digital twin for managing distributed centers for collecting, storing and processing data // Modern Information Technologies and IT-Education, Vol. 19, No 2, pp. 262-271, 2023. – ISSN:2411-1473.*

# Digital twin (DT)

Real-time operation throughout the entire DDC life cycle.

## COMPUTER MODEL



## INPUT DATA

- Architecture and hardware parameters of DDC.
- Characteristics of data flows and job flows.

## FUNCTIONAL PURPOSE

- Designing of DDC.
- Analysis of the efficiency and reliability of DDC.
- Testing scaling scenarios based on data flows and job flows requirements.
- Assessment of the required amount of resources for specific tasks.
- Checking job flows management strategies.



Priakhina D., Korenkov V., Trofimov V. Method for constructing digital twins to solve problems of effective management and development of distributed centers for collecting, storing and processing data // Modern Information Technologies and IT-Education, Vol. 19, No 2, pp. 272-281, 2023. – ISSN:2411-1473.



# Digital twin (DT)

The modeling core provides the functioning of a DT.



- Probabilistic distributions are taken into account when forming data flows, job flows, and criteria for the functioning of equipment.

## Generating parameters for data & jobs flows:

$$pr(x) = \frac{1}{b - a}$$

- the probability density function of a uniform distribution, where [a, b) — the interval for changing the parameter value

$$pn(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

- the probability density function of the normal distribution, where  $\mu$  — the average value of a random variable,  $\sigma$  — standard deviation

## Event flow generation (exponential distribution):

$$\tau = -\frac{1}{\lambda} * \ln(r)$$

- the interval between random events

- a uniformly distributed random number [0;1]

- the average number of events per unit of time

# Software complex for creating digital twins of DDC



## Functionality of the web service

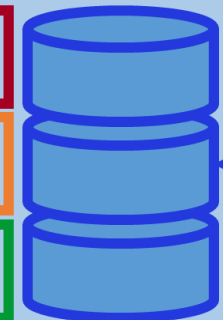
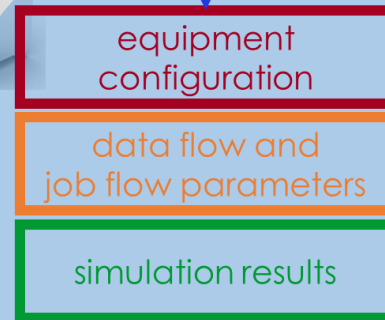
- Setting the parameters of the DDC equipment & characteristics of data flows and jobs flows.
- Configuration of DDC scaling scenarios.

- Building the DDC structure.
- Starting the DT.
- Viewing the results of the DT.

Web-service



Database



Stable core for transferring and processing data modelling



## Technology stack





# Functionality of the web service

Построение инфраструктуры центра сбора, хранения и обработки данных

Create a digital twin

Настройка базовой конфигурации оборудования  
\* Обязательное поле для заполнения

• Название\*:

• Описание:

• Объем:  ТБ

1

Генератор данных    Вычислительная компонента    **Хранилище данных**    Роботизированная библиотека    Сохранить изображение

## Building the computing infrastructure

1. Selecting some object
2. Putting it in the drawing area
3. Setting the equipment parameters

The prototype of the web service has not yet been localized.



# Functionality of the web service

## Построение инфраструктуры центра сбора, хранения и обработки данных

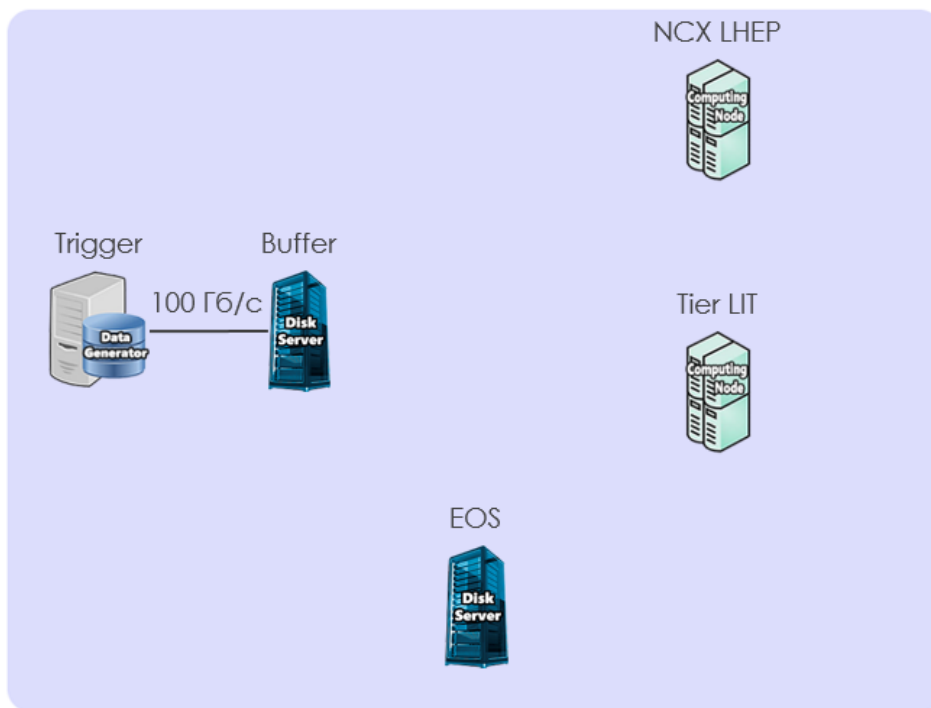
Генератор данных

Вычислительная компонента

Хранилище данных

Роботизированная библиотека

Сохранить изображение



## Setting up communication links

Редактировать инфраструктуру

Настроить каналы связи

Настроить потоки данных

Настроить потоки задач

Создать цифровой двойник

Настройка каналов связи

\* Обязательное поле для заполнения

Выберите существующий канал из списка, чтобы изменить параметры

link1

• Название\*:

link1

• Описание:

trigger-buffer

• Канал от\*:

Trigger

до\*:

Buffer

• Пропускная способность: 10 Гб/с

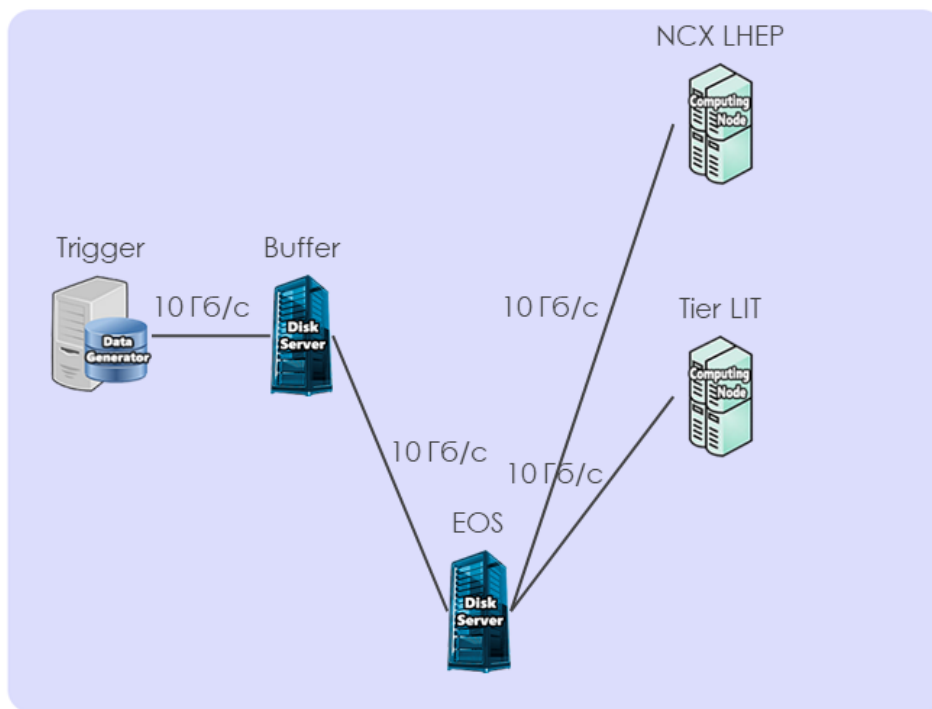
Сохранить изменения



# Functionality of the web service

Построение инфраструктуры центра сбора, хранения и обработки данных

Генератор данных    Вычислительная компонента    Хранилище данных    Роботизированная библиотека    Сохранить изображение



## Setting parameters for data flows and job flows

Редактировать инфраструктуру

Настроить каналы связи

Настроить потоки данных

Настроить потоки задач

Создать цифровой двойник

Настройка потоков задач

\* Обязательное поле для заполнения

- Название\*:
- Описание:
- Тип обрабатываемых данных\*:
- Объем входных данных для задачи\*:  Гб
- Объем входных данных (допустимое отклонение):  Гб
- Тип результирующих данных\*:
- Объем выходных данных\*:  Гб
- Объем выходных данных (допустимое отклонение):  Гб
- Распределение вероятности для генерации данных:
- Среднее время выполнения задачи\*:  с
- Среднее время выполнения (допустимое отклонение):
- Распределение вероятности для генерации задач:
- Общее количество задач \*

Добавить



# Functionality of the web service

## Configuration of computing infrastructure scaling scenarios

**Добавление эксперимента**

Заполните поля формы, чтобы добавить новый эксперимент для поиска оптимальной конфигурации оборудования

\* Обязательное поле для заполнения

Название эксперимента \*

Test 1

Описание эксперимента

Поиск оптимального количества ресурсов для хранения данных

Параметры моделирования

- Продолжительность работы моделируемой инфраструктуры –  ч.
- Ускорение процесса моделирования в  раз.

Параметры логирования

Выберите объекты и события, о которых необходимо сохранять информацию во время моделирования

- Объекты моделируемой инфраструктуры
  - Хранилища данных
  - Вычислительные компоненты
  - Каналы связи
- События
  - Генерация данных
  - Потери данных
  - Работа с файлами
  - Генерация, запуск, выполнение задач

Добавить

Очистить

Отмена

### Parameters for modeling:

➤ experiment name;

➤ description;

➤ duration of work;

➤ speed up of modelling;

➤ objects and events for logging.

## Эксперименты

Создайте новый эксперимент или добавьте новый эксперимент для поиска оптимальной конфигурации оборудования

### Test 4

Test

Дата создания: 9 марта 2023 г. 15:04

### Test 3

Исследование загрузки каналов связи

Дата создания: 7 февраля 2023 г. 10:42

### Test 2

Поиск оптимального количества вычислительных ресурсов

Дата создания: 7 февраля 2023 г. 10:38

### Test 1

Поиск оптимального количества ресурсов для хранения данных

Дата создания: 7 февраля 2023 г. 10:36

Добавить



# Functionality of the web service

## Информация об эксперименте

Дата создания: 7 февраля 2023 г. 10:36

Название эксперимента

Test 1

Описание эксперимента

Поиск оптимального количества ресурсов для хранения данных

Параметры моделирования

- Продолжительность работы моделируемой инфраструктуры – 800 ч.
- Ускорение процесса моделирования в 1000 раз.

Параметры логирования

- Объекты моделируемой инфраструктуры
  - Хранилища данных
  - Вычислительные компоненты
  - Каналы связи

- События
  - Генерация данных
  - Потери данных
  - Работа с файлами
  - Генерация, запуск, выполнение задач

Посмотреть результаты

Выбрать другой эксперимент

Базовая конфигурация

Хранилища данных

Название	Описание	Объем (ТБ)
trigger	Trigger BM@N	10000,0
buffer	Data receipton buffer	5400,0
eoslhep	Main storage LHEP	1000,0
eoslit	Main storage LIT	1000,0
dcach	pp	1000,0

Вычислительные компоненты

Название	Описание	Количество ядер
t2lit	LIT T2 farm	500
ncxlhep	LHEP main farm	1200
super	Govorun	190

Каналы связи

Название	Описание	Пропускная способность (Гб/с)
raw0	trigger - buffer	100,0
raw1	buffer - lhep	10,0
raw2	buffer - lit	10,0
compute0	lhep - farm lhep	10,0
compute1	lit - Govorun	10,0
compute2	lit - farm lit	10,0
dataeosLhepLit	eoslhep - eoslit	10,0
dataeosLitLhep	eoslit - eoslhep	10,0

Добавить модификацию

Список модификаций

№	Статус	Дата обновления			
16	NEW	9 марта 2023 г. 14:52	Просмотр	Запуск	Результаты
15	DONE	10 марта 2023 г. 10:18	Просмотр	Запуск	Результаты

Simultaneous run of all modifications is possible

Список событий

Название	Описание	
decrease	уменьшение количества ядер	Подробнее

Добавить событие

Adding and configuring events in the system



# Functionality of the web service

## The digital twin results

### Результаты эксперимента Test 1

Выберите вкладку для просмотра результатов

Хранилища данных    Вычислительные компоненты    **Каналы связи**    Очереди задач    Распределения файлов



### Available for viewing:

- data storage load volume;
- using cores on computing components;
- load on communication links;
- job queues, the number of completed jobs;
- distribution of files in storages.



# DT of distributed systems for megascience experiments

NICA accelerator complex



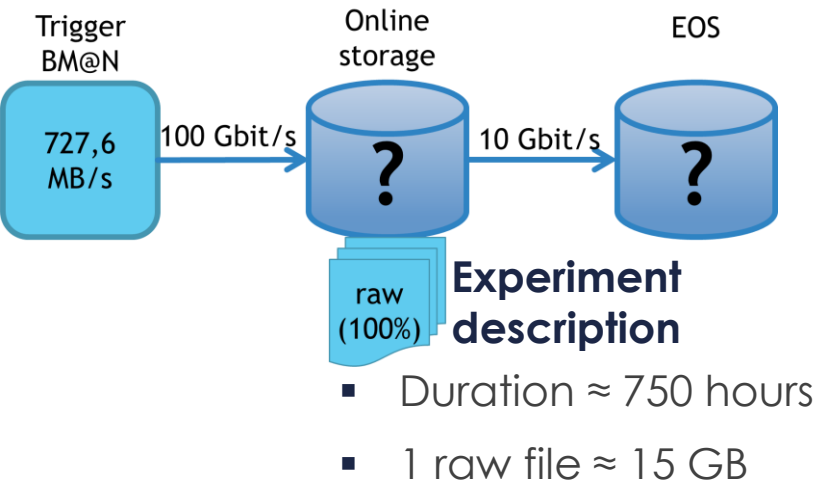
Megascience experiments

- High Energy Physics
  - The study of baryonic matter
  - Spin Physics

*Russia, Moscow region, Dubna, Joint Institute for Nuclear Research*

# Verified by the example of the BM@N experiment computing infrastructure

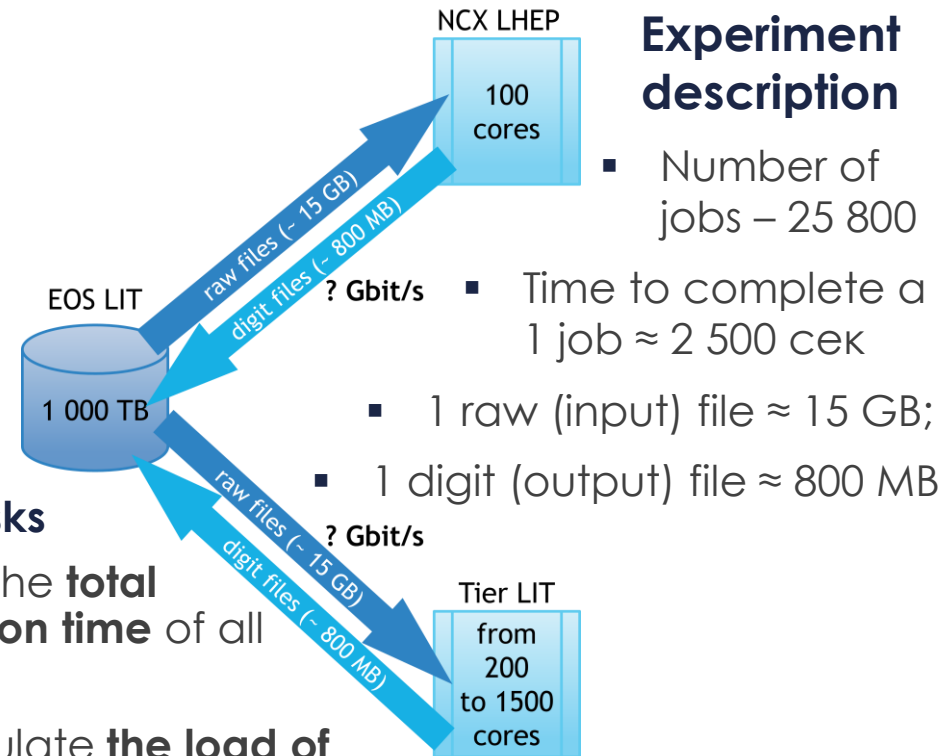
## Experimental data acquisition and storage



### Tasks

1. Find the **amount of resources** that are needed to store all **raw-data** on the Online storage.
2. Find the **number of raw files** in the EOS storage.

## Running experimental data processing jobs



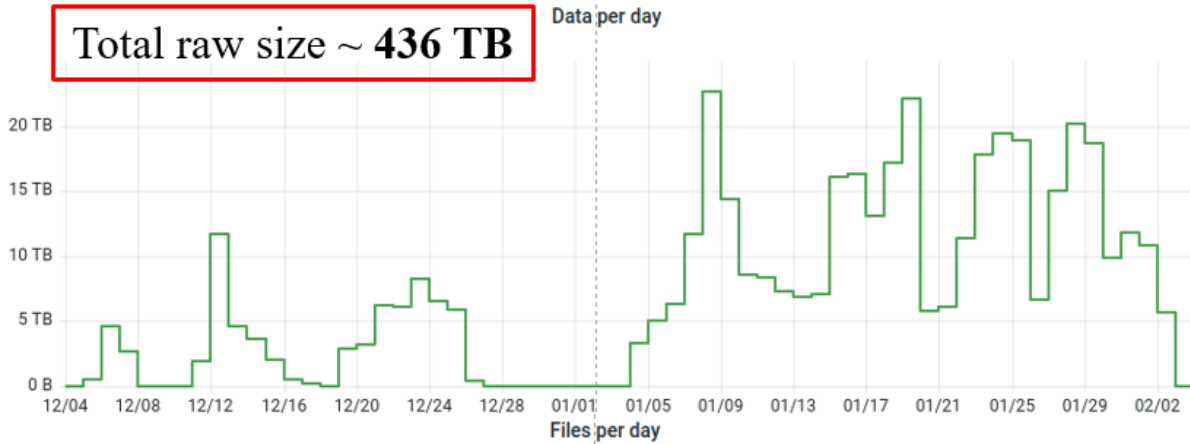
### Tasks

1. Find the **total execution time** of all jobs.
2. Calculate the **load of computing resources** during the execution of jobs.
3. Calculate the **load of communication links**.

# Monitoring VS Digital Twin

The probability of stopping (failure) of the data generator – 80%

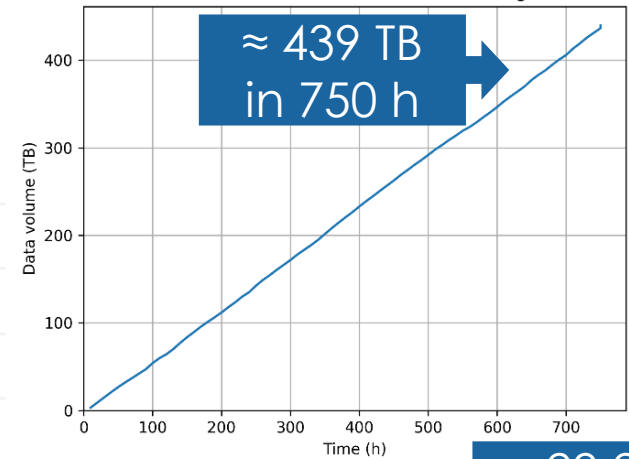
Total raw size ~ 436 TB



Total files: 31306

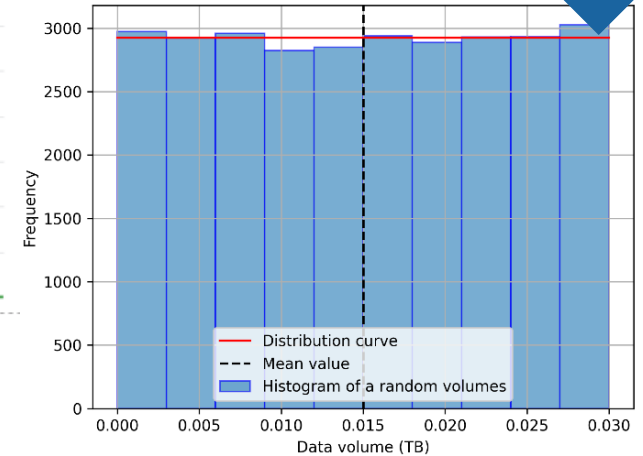


Total data volume on the Online storage



≈ 29 241 raw files

Distribution of Raw Files on the EOS LIT



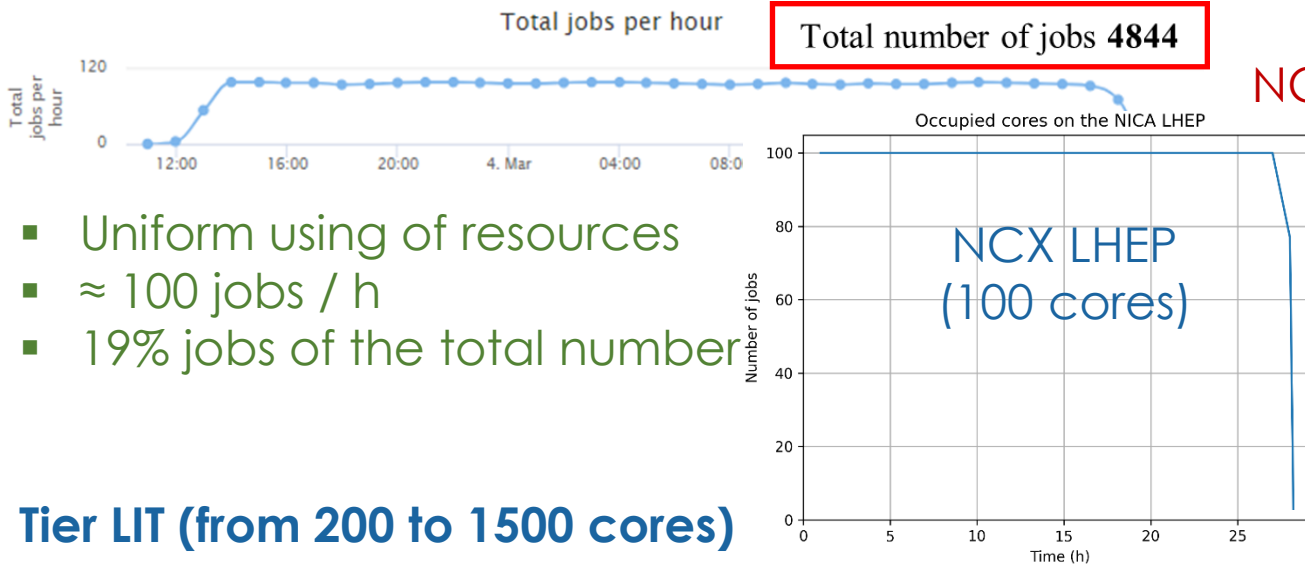
- Non uniform distribution.
- No data is received at all by some periods.



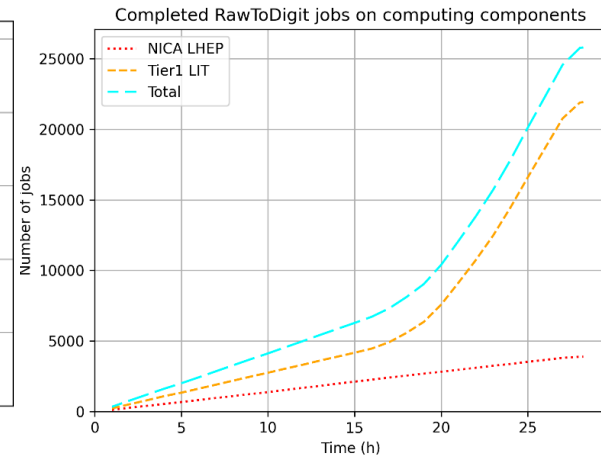
Priakhina D., Korenkov V., Trofimov V., Gertsenberger K. Verification of the simulation program for creating digital twins of distributed data acquisition, storage and processing centers // International Journal of Open Information Technologies, Vol. 12, No 1, pp. 118-128, 2024. – ISSN:2307-8162.

# Monitoring VS Digital Twin

**NCX LHEP (100 cores)** Processing time of all jobs  $\approx 30$  h



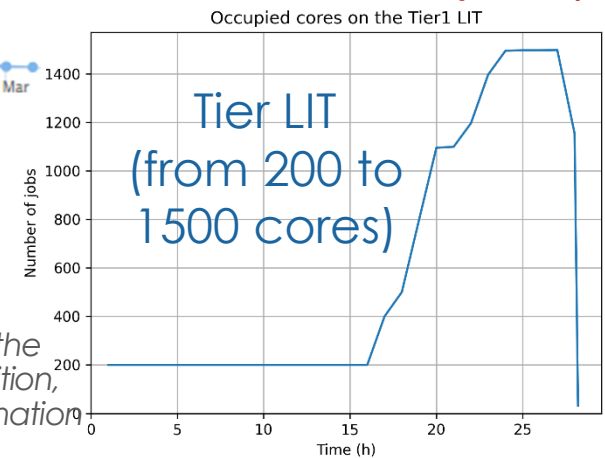
NCX LHEP  $\approx 3\ 875$  jobs (15%)



**Tier LIT (from 200 to 1500 cores)**

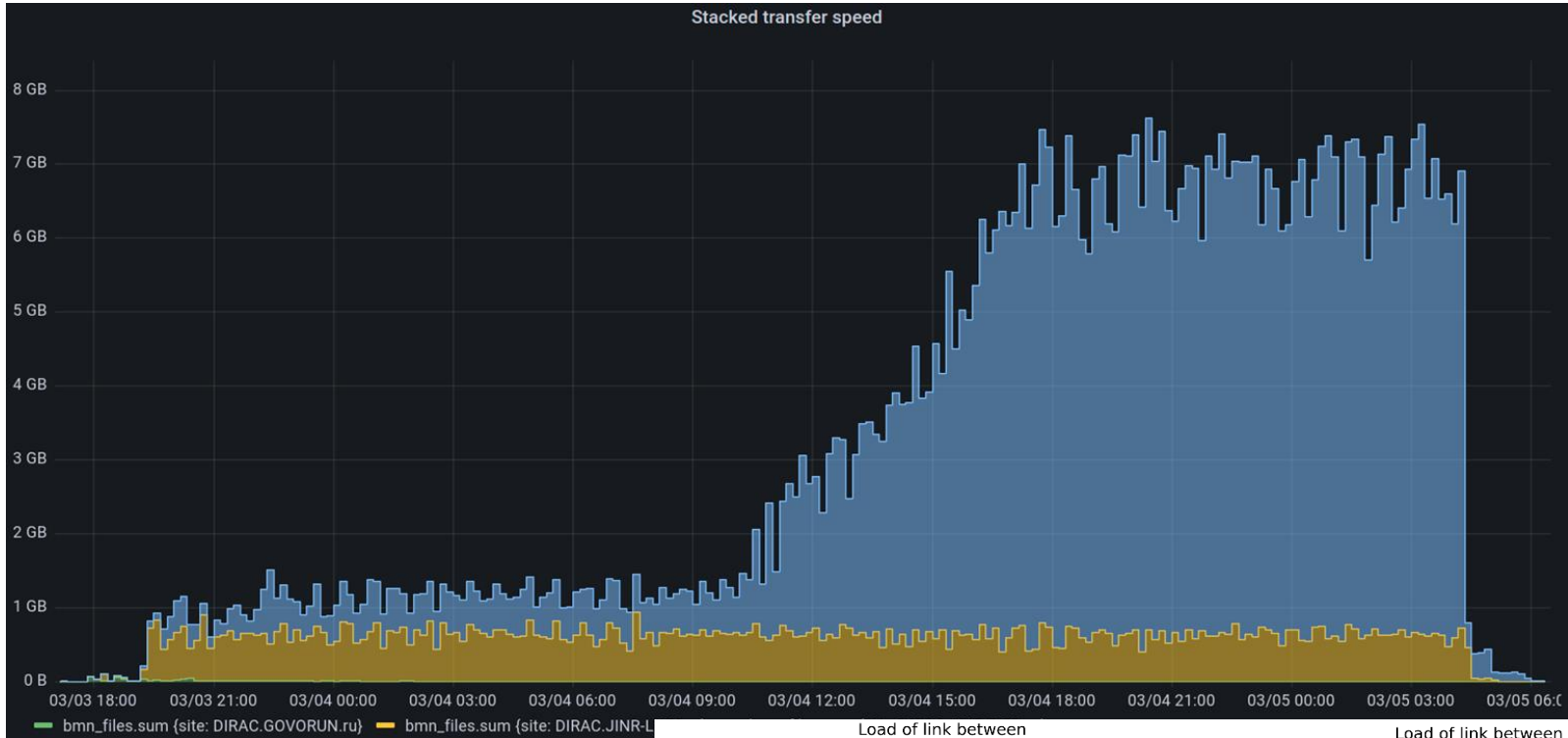


Tier LIT  $\approx 21\ 925$  jobs (85%)



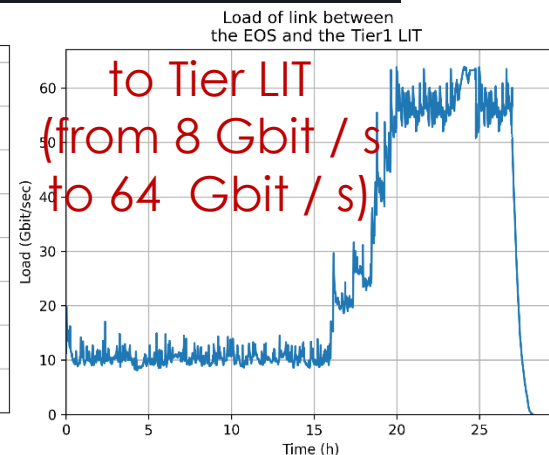
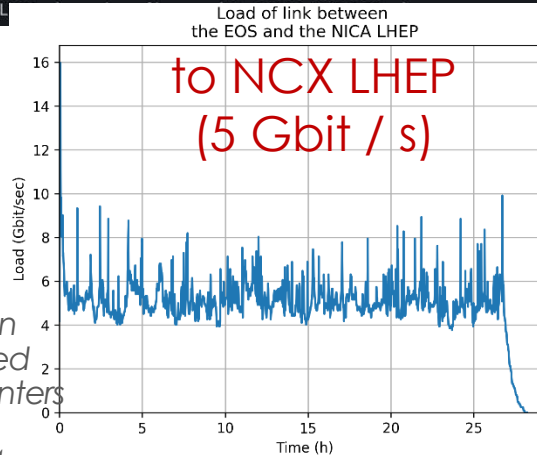
Priakhina D., Korenkov V., Trofimov V., Gertsenberger K. Verification of the simulation program for creating digital twins of distributed data acquisition, storage and processing centers // International Journal of Open Information Technologies, Vol. 12, No 1, pp. 118-128, 2024. – ISSN:2307-8162.

# Monitoring VS Digital Twin



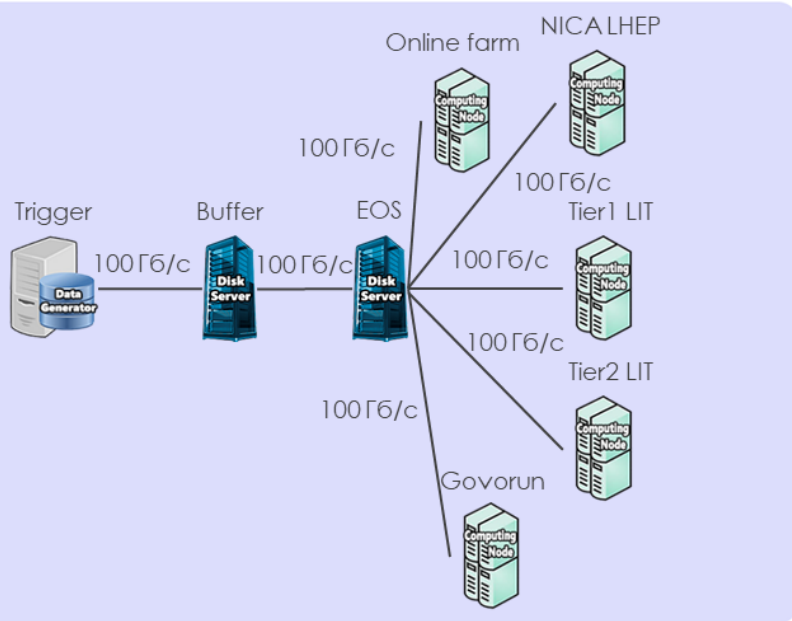
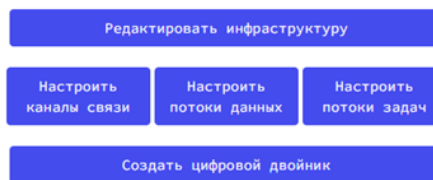
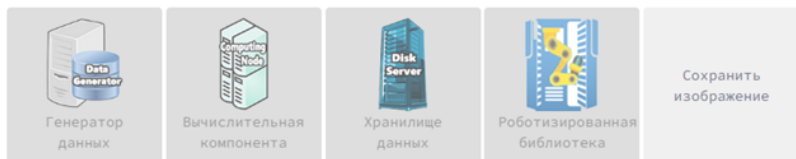
- Avg. data transfer rate to NCX LHEP  $\approx 4$  Gbit / s
- Avg. data transfer rate to Tier LIT from 8 Gbit / s to 64 Gbit / s

Priakhina D., Korenkov V., Trofimov V., Gertsenberger K. Verification of the simulation program for creating digital twins of distributed data acquisition, storage and processing centers // International Journal of Open Information Technologies, Vol. 12, No 1, pp. 118-128, 2024.



# Digital Twin of the BM@N experiment computing infrastructure

Построение инфраструктуры  
центра сбора, хранения и обработки данных

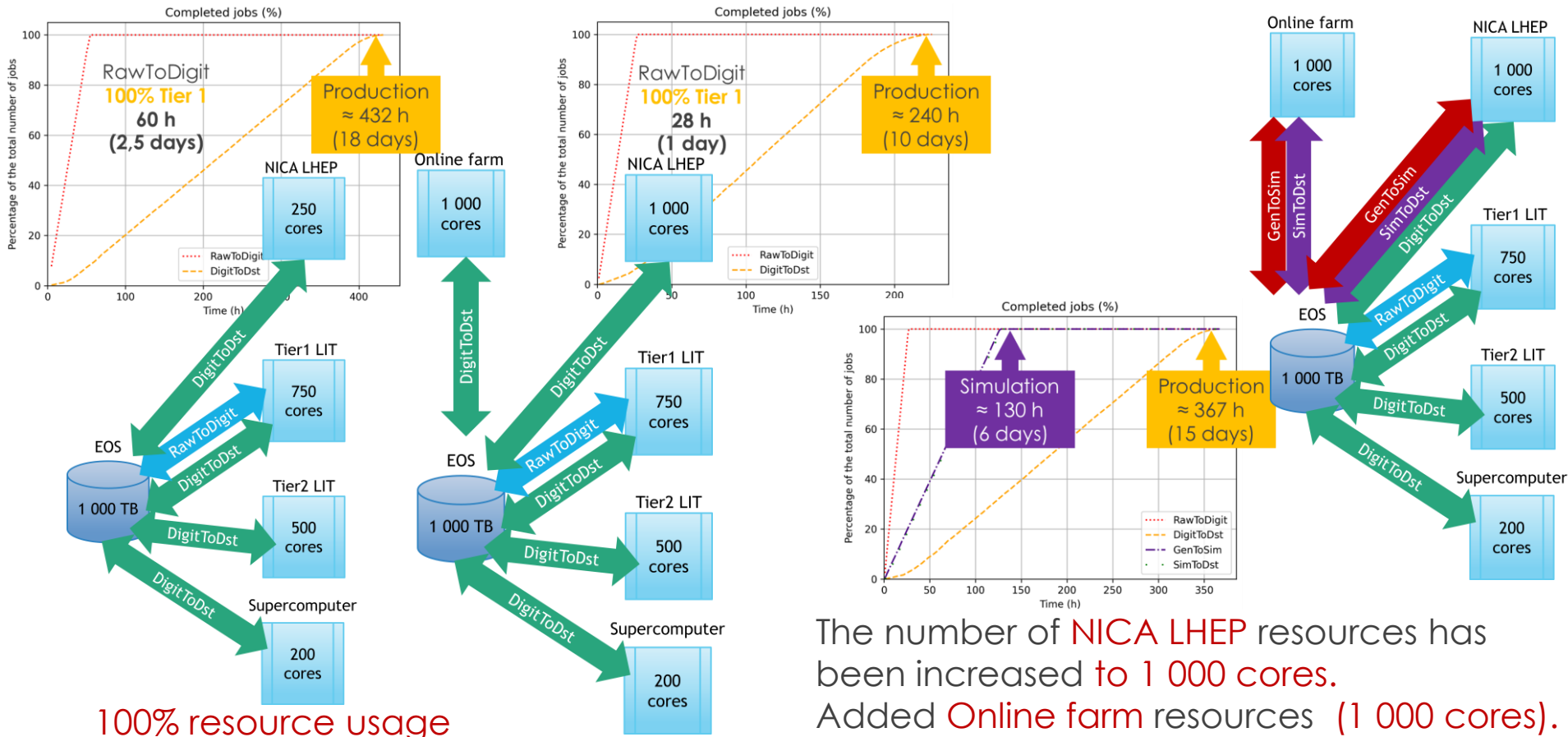


## Goals:

- assessing the resource requirements for data storage and processing, taking into account the planned parameters of the data flows of future experimental Runs;
- obtaining an approximate time that will be required to process the data at the end of the experiment Run.

# Digital Twin of the BM@N experiment computing infrastructure

## Comparison of different data processing infrastructure configurations



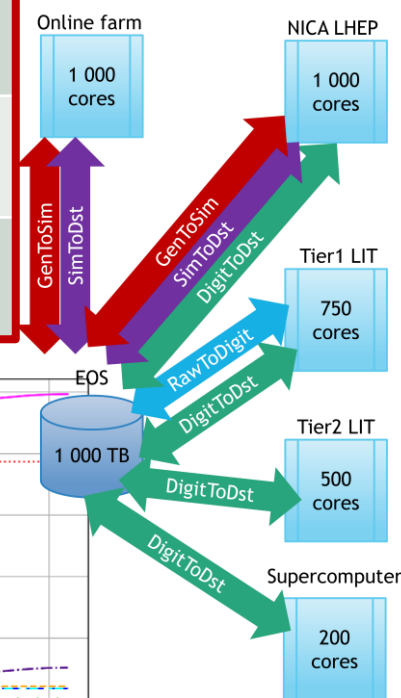


# Digital Twin of the BM@N experiment computing infrastructure

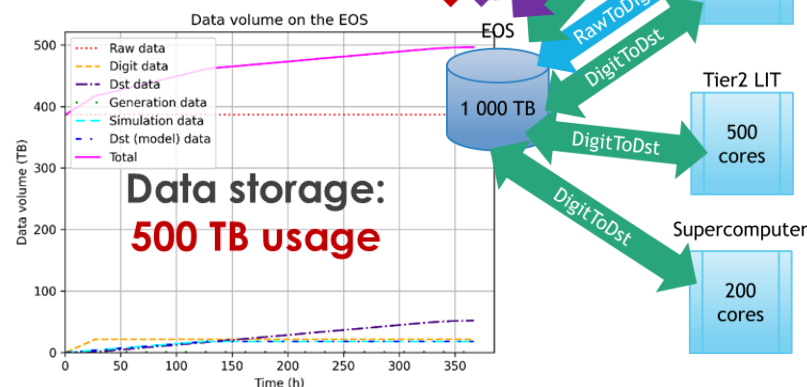
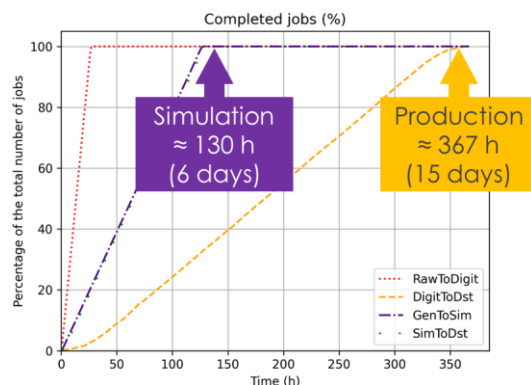
## Results

	1	2	3
During of conversion of raw experimental data to digit data (RawToDigit jobs)	60 hours (2,5 days)	28 hours (1 day)	28 hours (1 day)
During of processing experimental data to reconstruction data	432 hours (18 days)	240 hours (10 days)	367 hours (15 days)
During of processing simulation data to reconstruction data	---	---	130 hours (6 days)

The process of converting raw data is **speed up in 2 times**



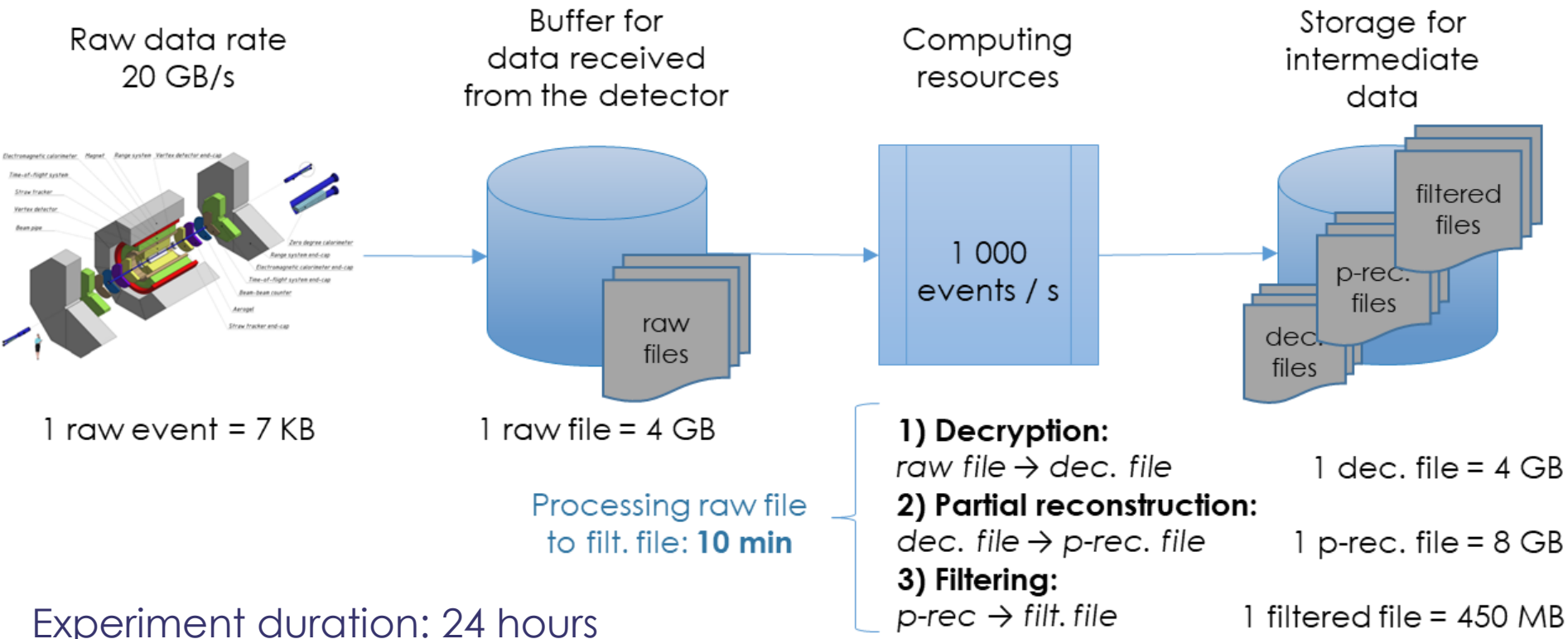
A configuration has been found for processing experimental and simulated data in the shortest amount of time using all available resources.





# Digital Twin of SPD Online filter

## First experience



Experiment duration: 24 hours

To calculate:  
 ? data storage volumes;

? network load;  
 ? load of computing resources etc.

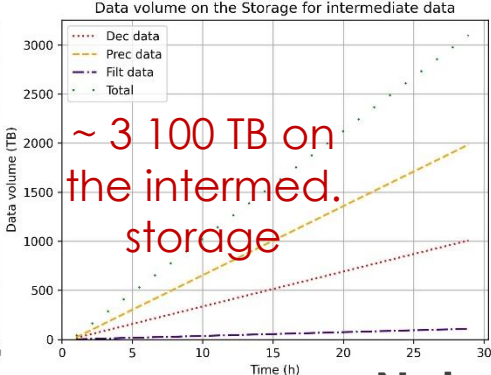
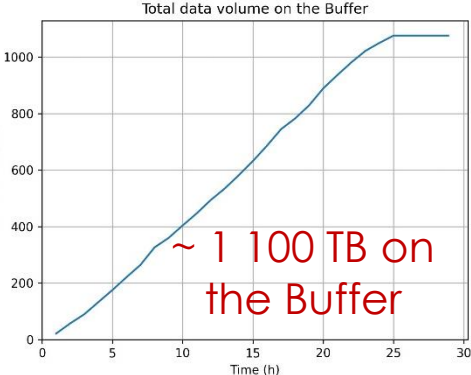


# Digital Twin of SPD Online filter

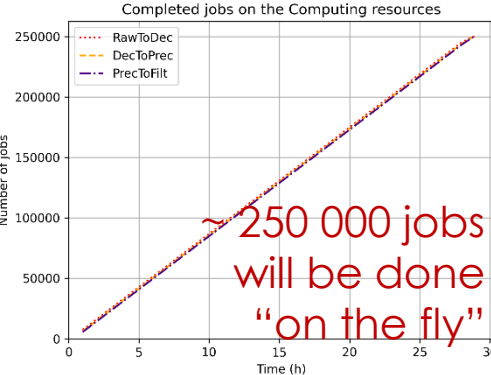
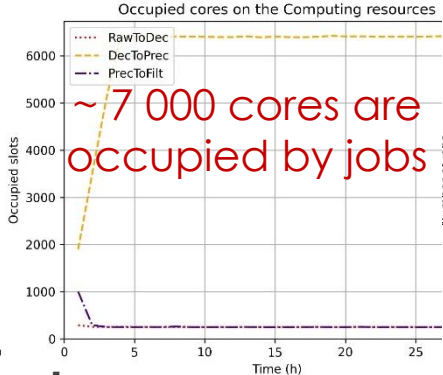
## First experience

Data generation efficiency – 60%

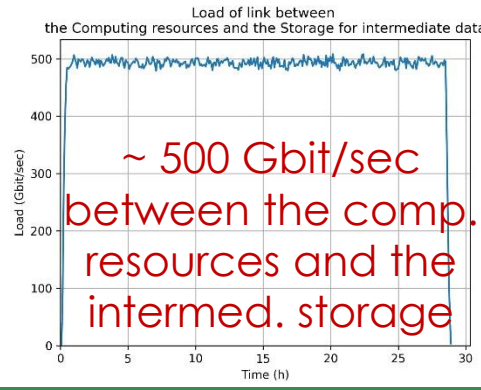
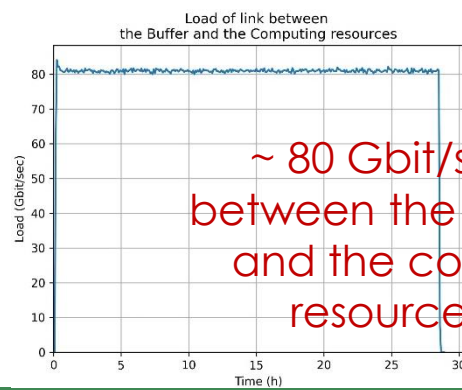
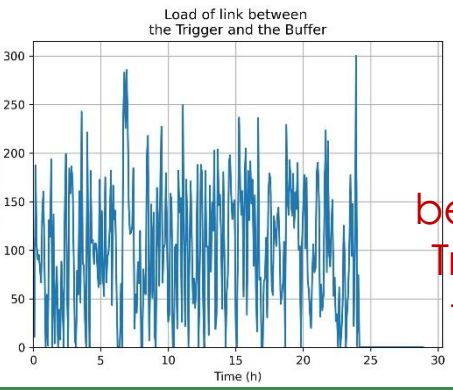
### Data storages



### Computing resources



### Network



# Conclusions



- Software complex has been developed to create digital twins of distributed data acquisition, storage and processing centers:
  - database;
  - modelling program (**successful approbation**);
  - web-service (prototype: building DT, setting configurations, starting DT, viewing results).
- The modeling program takes into account:
  - the probability of failures and changes in equipment parameters;
  - requirements for stored data flows;
  - requirements for data processing job flows.



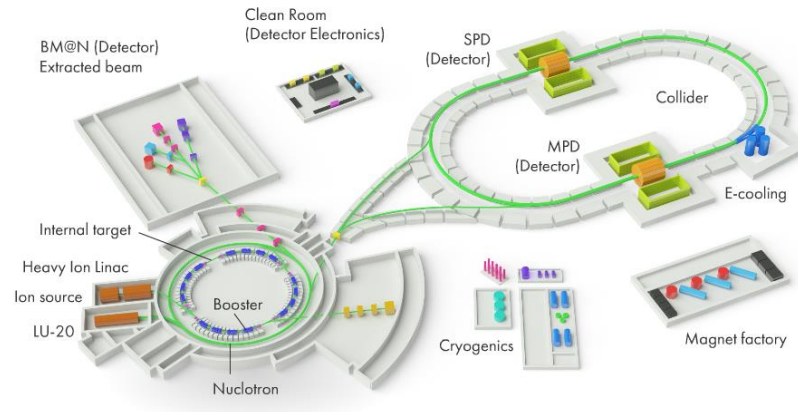
The certificate of state registration №2023667305 (14.08.2023, Russia)

# Conclusions



- Software complex is used for the design of NICA project computing infrastructures.

*Nuclotron-based Ion Collider Facility  
(NICA, JINR, Dubna, Russia)*



- The examples confirm the possibility of further use of the software complex and digital twins **for solving management and development tasks of distributed computer systems for megascience projects.**

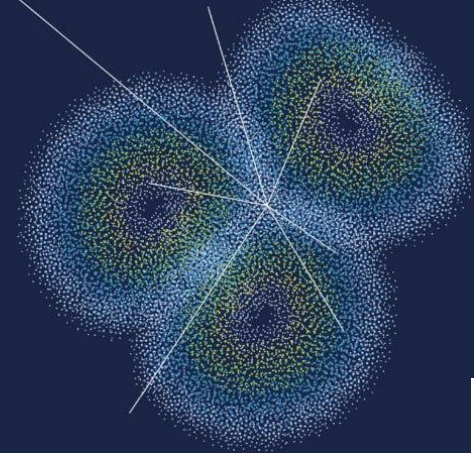
# Acknowledgments



1. This work is supported by **JINR grant for young scientists** No. 24-601-02.
2. Thanks to **Konstantin Gertsenberger (LHEP)** for providing the source data and the opportunity to use the software complex for modeling of the BM@N experiment computing infrastructure.
3. Thanks to **Igor Pelevanyuk (MLIT)** for providing data monitoring the use of the BM@N experiment computing infrastructure for verification of the modeling program.
4. Thanks **Danila Oleynik (MLIT)** and SPD collaboration for providing the source data and the opportunity to use the software complex to create digital a twin of SPD Online filter.



# 28<sup>th</sup> International Scientific Conference of Young Scientists and Specialists



**AYSS**  
28.10-01.11  
**2024**

## Thank you for the attention!

**DARIA PRIAKHINA**

Meshcheryakov Laboratory of Information Technologies  
Joint Institute for Nuclear Research

28.10.2024