

Многофункциональный информационно– вычислительный комплекс ЛИТ ОИЯИ

МИВК

05-6-1118-2014/2019

Авторы и участники проекта:

ЛИТ

Адам Г., Адамов Г., Александров Е.И., Александров И.Н., Ангелов К.Н., Астахов Н.С., Багинян А.С., Баландин А.И., Балашов Н.А., Баранов А.В., Белов С.Д., Беляков Д.В., Бондяков А.С., Бутенко Ю.А., Войтишин Н.Н., Воронцов А.С., Гаврилов С.В., Гавриш А.П., Галактионов В.В., Голоскокова Т.М., Голунов А.О., Графов Е.А., Громова Н.И., Гуцин А.Э., Долбилов А.Г., Жильцов В.Е., Закомолдин А.Ю., Зрелов П.В., Зуев М.И., Кадочников И.С., Каменский А.С., Капитонов В.А., Кашунин И.А., Кондратьев А.О., Кореньков В.В., Коробова Г.А., Кульпин Е.Ю., Кутовский Н.А., Лаврентьев А.А., Марченко С.В., Матвеев М.А., Мицын В.В., Мицын С.В., Нечаевский А.В., Олейник Д.А., Ососков Г.А., Пелеванюк И.С., Петросян А.Ш., Пляшкевич М.С., Подгайный Д.В., Попов Л.А., Пряхина Д.И., Розенберг Я.И., Сапожникова Т.Ф., Семенов Р.Н., Стрельцова О.И., Стриж Т.А., Трофимов В.В., Ужинский А.В., Чащин С.В., Чурин А.И., Шишмаков М.Л.

ЛФВЭ: Потребеников Ю.К., Щинов Б.Г., Минаев Ю.И., Рогачевский О.В., Шматов С.В.

ЛНФ: Сухомлинов Г.А.

ЛРБ: Чаусов В.Н.

ЛЯР: Сорокоумов В.В., Поляков А.Г.

ЛЯП: Иванов Ю.П.

ЛТФ: Сазонов А.А.

УНЦ: Семенюшкин И.Н.

Страны и институты участники проекта:

Азербайджан (ИФ НАНА),

Армения (ЕГУ, ИПИА НАН РА),

Беларусь (НИИ ЯП БГУ, ОИЭЯИ-Сосны),

Болгария (INRNE BAS, SU),

Грузия (ТГУ, ГТУ, GRENA),

Италия (INFN, Болонья),

Казахстан (ЕНУ, Астана),
Китай (ИНЕР, Пекин)
Куба (USI, Гавана)
Молдова (АНМ, ИМИ АНМ, RENAM),
Монголия (NUM),
Польша (CYFRONET),
Россия (ГПКС, ИПМ РАН, ИППИ РАН, ИСП РАН, ИТЭФ, МГУ, МЭИ, НИВЦ МГУ,
НИИЯФ МГУ, НИЦ КИ, РОСНИИРОС, ИЯИ РАН, ПИЯФ, Ун-т "Дубна", ЦКС "Дубна",
ОЭЗ "Дубна", ННГУ, ИЯФ СО РАН, ИПС РАН, ИФВЭ, ИМПБ РАН, СГАУ, СПбГУ, ФГУП
Информатика и управление, СПбГПУ, СКЦ ИПХФ РАН, ИТФ РАН),
Румыния (IFIN-НН, IFA, INCDTIM),
Словакия (IEP SAS),
Тайвань (ASGC)
Украина (ИТФ НАНУ, ННЦ ХФТИ),
Чехия (IP ASCR),
Германия (DESY, GSI, KIT),
Египет (CU),
Франция (CPPM),
США (BNL, UTA, Fermilab),
ЦЕРН

Коллаборации:

WLCG, RDMS CMS, RDIG

РУКОВОДИТЕЛЬ ПРОЕКТА Кореньков В.В.

ЗАМЕСТИТЕЛЬ РУКОВОДИТЕЛЬ ПРОЕКТА Стриж Т.А.

ДАТА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ПРОЕКТА В НОО _____

ДАТА НТС ЛАБОРАТОРИИ 8 апреля 2019 НОМЕР ДОКУМЕНТА № 80

ДАТА НАЧАЛА ПРОЕКТА 1 января 2017

(ДЛЯ ПРОДЛЕНИЙ — ДАТА ПЕРВОГО УТВЕРЖДЕНИЯ ПРОЕКТА)

Многофункциональный информационно–вычислительный комплекс ЛИТ ОИЯИ

МИВК

05-6-1118-2014/2019

Кореньков Владимир Васильевич

УТВЕРЖДЕН ДИРЕКТОРОМ ОИЯИ	ПОДПИСЬ	ДАТА
СОГЛАСОВАНО		
ВИЦЕ-ДИРЕКТОР ОИЯИ	ПОДПИСЬ	ДАТА
ГЛАВНЫЙ УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ	ПОДПИСЬ	ДАТА
ГЛАВНЫЙ ИНЖЕНЕР	ПОДПИСЬ	ДАТА
НАЧАЛЬНИК НОО	ПОДПИСЬ	ДАТА
ДИРЕКТОР ЛАБОРАТОРИИ	ПОДПИСЬ	ДАТА
ГЛАВНЫЙ ИНЖЕНЕР ЛАБОРАТОРИИ	ПОДПИСЬ	22.04.19 ДАТА
РУКОВОДИТЕЛЬ ПРОЕКТА	ПОДПИСЬ	ДАТА
ЗАМ. РУКОВОДИТЕЛЯ ПРОЕКТА	ПОДПИСЬ	22.04.19 ДАТА
ОДОБРЕН		
ПКК ПО НАПРАВЛЕНИЮ	ПОДПИСЬ	ДАТА

Оглавление

Оглавление	4
Аннотация	5
Введение.....	6
Состояние исследований.....	7
Описание предлагаемого исследования	10
Сетевая инфраструктура	10
Инженерная инфраструктура – гарантированное энергообеспечение, система климатического контроля.....	12
Off-line NICA кластер в рамках МИВК.....	15
Информационно-вычислительная среда для нейтринных экспериментов с участием ОИЯИ.....	17
Развитие грид-компоненты МИВК – Tier1 центра эксперимента CMS и интегральной компоненты МИВК Tier2/ЦИВК	19
Облако ОИЯИ	21
Расширение гетерогенной платформы HybriLIT, включающей в себя суперкомпьютер «Говорун»	21
Система хранения данных (озеро ОИЯИ).....	22
Унифицированная система управления ресурсами МИВК.....	24
Унифицированная система управления потоками данных.....	25
СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА МИВК ЛИТ ОИЯИ.....	26
ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ	27
Заключение.....	28
Оценка кадровых ресурсов	29
Краткий ССВУ	35

Аннотация

Реализация проекта Многофункционального информационно–вычислительного комплекса (МИВК) ЛИТ ОИЯИ в 2017-2019 годах заложила фундамент для его дальнейшего развития и эволюции с учетом новых требований к вычислительной инфраструктуре для научных исследований на базе современных информационных технологий согласно 7–летнему плану развития ОИЯИ на 2017–2023 гг.

Быстрое развитие информационных технологий и новые требования пользователей стимулируют развитие всех компонент и платформ МИВК. Многофункциональность, высокая надежность и доступность в режиме 24x7x365, масштабируемость и высокая производительность, надежная система хранения данных, информационная безопасность и развитая программная среда для различных групп пользователей являются основными требованиями, которым должен удовлетворять МИВК как современный научный вычислительный комплекс.

Для выполнения этих требований необходимо обеспечить высокоскоростную телекоммуникационную и сетевую инфраструктуру, а также надежную инженерную инфраструктуру.

Продление проекта МИВК направлено на модернизацию и развитие основных аппаратно-программных компонент вычислительного комплекса, создание современной программной платформы, направленной на развитие методов и алгоритмов машинного/глубокого обучения (ML/DL) для решения широкого спектра задач.

Компьютерная инфраструктура ОИЯИ включает в себя широкий спектр вычислительных компонент и IT-технологий для решения актуальных задач – от теоретических исследований до обработки, хранения и анализа экспериментальных данных. Это ИТ-экосистема для проекта NICA (BM@N, MPD, SPD), Tier1 для эксперимента CMS в ОИЯИ, Tier2/ЦИВК, обеспечивающий поддержку экспериментов на LHC (ATLAS, ALICE, CMS), FAIR (CBM, PANDA) и других масштабных экспериментов, а также поддержку пользователей Лабораторий ОИЯИ и стран-участниц (MPD/NICA, BESIII, ЛРБ, ЛЯР, ЛЯП, ЛТФ, ЛНФ, ЛФВЭ); интегрированная облачная среда стран–участниц для поддержки пользователей и экспериментов (NICA, ALICE, BESIII, NOvA, Daya Bay, JUNO и т. д.); платформа HybriLIT с суперкомпьютером ГОВОРУН, как основной ресурс для высокопроизводительных гибридных вычислений.

С учетом предыдущего опыта развития всех компонент МИВК, финансирование, запрашиваемое на реализацию проекта на 2020 – 2023 годы составляет 29867,5 kUSD. Финансирование дополнительного (сверх запланированного в проекте) расширения систем хранения данных для нейтринной программы и проекта NICA предусматривается за счет бюджета конкретных экспериментов.

Введение

Направление «Сети, компьютеринг и вычислительная физика» в деятельности ОИЯИ является одним из определяющих векторов развития всего института, что обусловлено все более значимой зависимостью научных исследований от состояния и развития информационных технологий. Развитие научных исследований в ОИЯИ определяет требования к вычислительным инфраструктурам. Многофункциональный информационно-вычислительный комплекс (МИВК) ЛИТ ОИЯИ является ключевым звеном этой инфраструктуры и играет определяющую роль в научных исследованиях, для проведения которых требуются современные вычислительные мощности и системы хранения данных. МИВК рассматривается как базовая установка ОИЯИ «СЕТИ и ЭВМ», представляющая собой совокупность комплексов, подсистем и других организационных единиц, к которым относятся: центры обработки данных уровня Tier1 и Tier2; облачная инфраструктура, суперкомпьютер «ГОВОРУН», хранилище данных; сеть передачи данных; инженерная инфраструктура МИВК; система мониторинга.

Современный вычислительный комплекс должен удовлетворять таким требованиям, как многофункциональность, высокая производительность, высокая надежность, отказоустойчивость и доступность, информационная безопасность, масштабируемость, а также развитая система поддержки программной среды для различных групп пользователей. Для выполнения этих требований в режиме 24x7x365 работы МИВК необходимо обеспечить постоянное обновление и расширение возможностей комплекса. Стремительное развитие информационных технологий не позволяет в полной мере определить конкретные решения, которые определяют развитие МИВК на ближайшие годы, однако тенденции этого обновления вполне определены. Реализация проекта МИВК в 2017-2019 гг. заложила фундамент для дальнейшего развития комплекса. Продление проекта МИВК связано с необходимостью проведения работ по следующим направлениям:

1. Развитие и совершенствование телекоммуникационной и сетевой инфраструктуры ОИЯИ.
2. поэтапная модернизация инженерной инфраструктуры МИВК ОИЯИ.
3. Модернизация и развитие ИТ-инфраструктуры проекта NICA.
4. наращивание производительности и ёмкости систем хранения центра обработки данных уровня Tier1 для эксперимента CMS.
5. Модернизация и развитие ресурсов, входящих в интегральную компоненту Tier2/ЦИВК, обеспечивающую как поддержку экспериментов, использующих грид-среду и сотрудничающих с физическими группами в ОИЯИ, так и поддержку пользователей Лабораторий ОИЯИ и стран-участниц, не использующих грид-среду (MPD/NICA, BESIII, ЛРБ, ЛЯР, ЛЯП, ЛТФ, ЛНФ, ЛФВЭ).
6. наращивание облачной компоненты с целью расширения спектра услуг, предоставляемых пользователям, и создания интегрированной облачной среды для экспериментов с участием ОИЯИ (NICA, ALICE, BESIII, NOvA, Daya Bay, JUNO и т. д.) и стран-участниц ОИЯИ с использованием технологии контейнеризации.
7. расширение гетерогенной платформы HybriLIT, включающей в себя суперкомпьютер «Говорун».
8. Существенное увеличение ресурсов отдельных компонент МИВК для удовлетворения требований нейтринных экспериментов.
9. Разработка унифицированной системы управления вычислительными ресурсами, нацеленной на обработку больших данных.
10. Разработка унифицированной системы управления данными, общей для всех компонент МИВК (озеро данных ОИЯИ).

Состояние исследований

Первые годы реализации проекта МИВК, являющегося базовой установкой ОИЯИ, заложили фундамент для его дальнейшего развития и эволюции с учетом новых требований к вычислительной инфраструктуре для научных исследований. Следует особо отметить, что в 2018 году был реализован, совместно с ЛТФ, поддержанный дирекцией ОИЯИ проект по включению в состав МИВК суперкомпьютера ГОВОРУН, нацеленный на кардинальное ускорение комплексных теоретических и экспериментальных исследований, в том числе для развития компьютеринга для мегапроекта NICA.

Реализация этого проекта на самых современных вычислительных архитектурах и IT-решениях предоставила пользователям возможность не только эффективно проводить параллельные вычисления, но и разрабатывать методы и алгоритмы машинного обучения/глубокого обучения (ML/DL) для решения широкого спектра задач, в том числе обработки экспериментальных данных с внедрением нейросетевого подхода.

Таким образом, вычислительная инфраструктура ОИЯИ включает в себя широкий набор вычислительных компонент и IT-технологий, предоставляющих возможность решения широкого спектра научных и инженерных задач, стоящих перед Институтом – от теоретических исследований до обработки, хранения и анализа экспериментальных данных.

Следует отметить, что программа научных исследований ОИЯИ на ближайшее десятилетие нацелена на проведение амбициозных и обширных экспериментов на базовых установках Института и в рамках широкого международного сотрудничества. Эта программа связана с реализацией мегапроекта NICA, строительством новых экспериментальных установок, нейтринной программой ОИЯИ, модернизацией экспериментальных установок LHC (CMS, ATLAS, ALICE), программами по физике конденсированных сред и ядерной физике. Реализация перечисленных выше проектов требует адекватных и соизмеримых инвестиций в системы, обеспечивающие обработку и хранение все увеличивающихся объемов данных. Опыт последних лет показывает, что от производительности и эффективности предоставляемых вычислительных ресурсов и ресурсов хранения напрямую зависит прогресс в получении результатов исследований. В связи с этим, дальнейшее развитие и наращивание производительности МИВК ОИЯИ, а также обеспечение новейшими IT – решениями пользователей Комплекса и повышение эффективности его эксплуатации является главной задачей Лаборатории информационных технологий.

В реализации этой задачи можно выделить следующие основные направления.

Первое из них связано с повышением эффективности использования всех ресурсов МИВК, представляющего собой совокупность различных вычислительных комплексов и инфраструктурных единиц: центры обработки данных LHC уровня Tier1 и Tier2; облачная инфраструктура; суперкомпьютер «ГОВОРУН»; кластер многопоточной обработки данных; многокомпонентное хранилище данных; сеть передачи данных; инженерная инфраструктура МИВК; система мониторинга. Реализация этого направления невозможна без создания унифицированной системы управления ресурсами, призванной обеспечить:

- единый интерфейс к вычислительным ресурсам и системам хранения данных (пользовательский и программный);
- единую систему авторизации пользователей с поддержкой групп пользователей и виртуальных организаций, интегрированную с внешними системами аутентификации;
- возможность управление квотами и приоритетами использования ресурсов.

Еще одним актуальным направлением в плане развития МИВК является

модернизация систем хранения данных, что связано с ожидаемым в 2020-2021 годах существенным увеличением объемов информации, которую необходимо будет сохранять и обрабатывать. В связи с этим, необходимо обеспечить выполнение следующих требований:

- предоставить достаточный ресурс для хранения и оперативного доступа к информации в процессе обработки;
- предоставить постоянно расширяемый ресурс для долговременного хранения информации, объём и скорость которого должна быть сбалансирована с соответствующими потоками информации;
- обеспечить возможность использования системы управления данными, автоматизирующую процессы взаимодействия с системами хранения;
- автоматизировать поддержку системы хранения с целью оптимизации и минимизации затрат.

Аналогичные задачи по модернизации систем хранения данных стоят и перед сообществами исследователей в области физики высоких энергий (ФВЭ) [1-3], в связи с модернизацией LHC в High-Luminosity Large Hadron Collider (HL-LHC), запуск которого ожидается в середине 2026 г. Также подобные задачи актуальны и для других крупномасштабных экспериментов, таких как DUNE в области нейтринной физики и других наук (например, проект SKA в астрономии), требующих сопоставимый с LHC объем ресурсов и позволяющих использовать успешный опыт проекта WLCG. Для удовлетворения этих требований необходима эволюция решений, на которых в течение почти двух десятилетий в рамках проекта WLCG ФВЭ продемонстрировала уникальные возможности распределенной вычислительной инфраструктуры для экспериментов на LHC в области управления многими сотнями петабайт данных, масштабирования вычислительных ресурсов и ресурсов хранения данных, обеспечения прозрачного доступа к этой системе пользователям.

В настоящее время активно ведется работа по выработке стратегии развития компьютеринга в ФВЭ. Стратегия эволюции строится на трех моментах: использование существующей вычислительной инфраструктуры ФВЭ и ее развитие в качестве общей вычислительной системы для ФВЭ и других наук; развитие средства и услуг для создания «озера» данных ФВЭ; работы в области создания общего программного обеспечения и программных методов.

Следует обратить внимание на то, что ОИЯИ активно участвует в проекте WLCG с первого дня его функционирования, являясь его полноправным участником и, следовательно, развитие и модернизация вычислительной инфраструктуры МИВК является частью развития этого проекта.

Другим направлением развития МИВК является создание эффективной, унифицированной программно-аппаратной среды для внедрения нейросетевого подхода, методов и алгоритмов машинного обучения/глубокого обучения, аналитики больших данных для решения широкого спектра задач, стоящих перед Институтом. Широкое внедрение этих подходов, в том числе для обработки экспериментальных данных в ФВЭ [4], нейтринных экспериментах [5], астрономии [6] и др., обусловлено многими факторами. К основным из них можно отнести развитие вычислительных архитектур, особенно при использовании методов DL при обучении сверточных нейронных сетей, а также развитие библиотек, в которых реализовано широкое многообразие алгоритмов, и фреймворков, позволяющих быстро строить различные модели нейросетей [4-5]. Для обеспечения возможностей как по разработке математических моделей и алгоритмов, так и для проведения ресурсоемких расчетов, в том числе на графических ускорителях, позволяющих существенно сокращать время вычислений, предлагается развивать экосистему для задач ML/DL и анализа больших данных.

1. WLCG Strategy towards HL-LHC <http://cds.cern.ch/record/2621698/files/LHCC-G-169.pdf?version=1>
2. A Roadmap for HEP Software and Computing R&D for the 2020s <https://arxiv.org/pdf/1712.06982.pdf>
3. Evolution of Scientific Computing in the next decade: HEP and beyond http://wlcg-docs.web.cern.ch/wlcg-docs/technical_documents/HEP-Computing-Evolution.pdf
4. Dan Guest, Kyle Cranmer, Daniel Whiteson, Deep Learning and its Application to LHC Physics, [10.1146/annurev-nucl-101917-021019](https://arxiv.org/abs/1806.11484), arXiv:1806.11484 [hep-ex]; S. Farrell et al, “The HEP.TrkX Project: deep neural networks for HL-LHC online and offline tracking”, EPJ Web of Conferences 150, 00003 (2017)
5. Alexander Radovic, Mike Williams, David Rousseau, Michael Kagan, Daniele Bonacorsi, Alexander Himmel, Adam Aurisano, Kazuhiro Terao & Taritree Wongjirad, Machine learning at the energy and intensity frontiers of particle physics, Nature, volume 560, pages41–48 (2018)
6. Rodrigo Carrasco-Davis, Guillermo Cabrera-Vives, Francisco Förster, Pablo A. Estévez, Pablo Huijse, Pavlos Protopapas, Ignacio Reyes, Jorge Martínez-Palomera, Cristóbal Donoso, Deep Learning for Image Sequence Classification of Astronomical Events, arXiv:1807.03869v3 [astro-ph.IM]

Описание предлагаемого исследования

Развитие научных исследований в ОИЯИ определяет требования к вычислительным инфраструктурам. Многофункциональный информационно-вычислительный комплекс (МИВК) ЛИТ ОИЯИ является ключевым звеном этой инфраструктуры и играет определяющую роль в научных исследованиях, для проведения которых требуются современные вычислительные мощности и системы хранения данных. Проект МИВК является инфраструктурным и нацелен на обеспечение пользователей современными вычислительными средствами для проведения исследований наиболее эффективным способом. Быстрое развитие информационных технологий, которые лежат в основе МИВК, с одной стороны, и новые требования пользователей с другой, являются причиной постоянной модернизации существующих компонент МИВК и обуславливают необходимость его дальнейшего развития. Как современный высокопроизводительный научный вычислительный комплекс МИВК должен удовлетворять следующим требованиям:

- многофункциональность,
- высокая надежность и доступность в режиме 24x7x365,
- масштабируемость,
- высокая производительность,
- развитая система хранения данных,
- информационная безопасность,
- развитая программная среда для различных групп пользователей.

Для выполнения этих требований необходимо обеспечить в рамках проекта высокоскоростные телекоммуникации и современную локальную сетевую инфраструктуру, а также надежную инженерную инфраструктуру, обеспечивающую гарантированное энергообеспечение и кондиционирование серверного оборудования.

Сетевая инфраструктура

Первые годы реализации проекта МИВК заложили основы для дальнейшего развития сетевой инфраструктуры ОИЯИ, в частности, были реализованы проекты, связанные с увеличением пропускной способности линии связи Москва-ОИЯИ до 100 Гб/сек, установка и конфигурирование оборудования опорной вычислительной сети института до 2 x 100 Гб/сек и сети распределенного вычислительного кластера между площадками ОИЯИ до 400 Гб/сек.

В реализации задачи развития сетевой инфраструктуры ОИЯИ можно выделить следующие основные направления:

1. Развитие внешних каналов связи;
2. Развитие локальной сети ОИЯИ;
3. Развитие сетевой инфраструктуры МИВК и мегапроекта НИКА;
4. Развитие лабораторной сети ЛИТ.

Решение первой задачи, связанной с обеспечением масштабируемости, надежности и отказоустойчивости средств передачи данных и требует создания как минимум двух независимых линий связи от Дубны, а также современной канальной (DWDM) аппаратуры, способной поддерживать высокие требования в постоянно растущих потребностях ОИЯИ в емкости внешних каналов связи.

Работы по расширению пропускной способности внешнего оптического канала будет складываться из ряда последовательный этапов:

- первый этап – продолжение модернизация существующей каналообразующей аппаратуры связи и 100 Gbps транспондеров;
- второй этап – масштабирование Московского (МГТС-9) сегмента связи на технологиях MPLS (MultiProtocol Label Switching) и VRF (Virtual Routing Forwarding);

- третий этап – оптимизация высоко скоростных маршрутов передачи данных с участниками коллабораций физики высоких энергий по - средством сетей GIANT, LHCOPN, LHCONE, и др.

Второе направление связано с развитием опорной межлабораторной сети Института и включает в себя развитие 100 Gbps сегмента внутри лабораторий. Внутри лабораторные сети должны иметь такое же значение пропускной способности, как и сетевые каналы, подводимые к Лабораториям, то есть 100 Gbps. Для реализации этой задачи необходимо дооснастить центральные коммутаторы 100 Gbps интерфейсами QSFP. Сетевое внутри - лабораторное оборудование предполагается приобрести за счет средств самих лабораторий.

В рамках третьего направления предполагается выполнение следующих работ:

- развитие локальной сети МИВК – переход на 100 Gbps интерфейсы;
- развитие коммуникационной компоненты сетевых подсистем МИВК и мегапроекта НИКА с использованием технологий Multisite cluster network на скорости не ниже 400 Gbps;
- создание сетевой инфраструктуры для приема и передачи данных между установками BM@N, MPD, SPD и on/off-line кластерами. Данное направление предполагает прокладку новых оптических сетей между двумя площадками ЛЯП и ЛФВЭ, а также обеспечить максимальную надежность и отказоустойчивость данной сети.

Повышение производительности сетевого сегмента системы МИВК/Tier–2 позволит повысить скорость доступа к данным, хранящимся в базах данных экспериментов LHC.

Четвертое направление, связанное с модернизацией локальной сети ЛИТ, подразумевает установку нового сетевого оборудования в корпусе 134 с поддержкой сетевых технологий 100 Gbps Ethernet.

Планируемый рост пропускной способности внешних каналов связи, опорной и локальной сети ОИЯИ приведен в таблице 1.

Таблица 1.

Год	2020	2021	2022	2023
Внешний канал	2 x 100 Гб/с.	4 x 100 Гб/с.	4 x 100 Гб/с.	6 x 100 Гб/с.
Опорная Сеть	2 x 100 Гб/с.			
MultiSite Cluster	4 x 100 Гб/с.	4 x 100 Гб/с.	8 x 100 Гб/с.	8 x 100 Гб/с.

Следует отметить, что рост пропускной способности внешних и внутренних линий связи сверх плана будет определяться потребностями подключенных к сети установок, в том числе потребностями мегапроекта НИКА, а осуществляться за счет привлечения финансирования из бюджетов экспериментов, совместных грантов и других источников.

Сетевые сервисы.

Еще одним актуальным направлением является развитие сетевых сервисов поддержки функционирования сети такие как: Сетевых сервисов (NOC Cluster) — электронной почты (e-Mail), управления именами (DNS), кэширования данных (Proxy), управления ресурсами (IPDB), авторизации (Radius, Tacacs, Kerberos), мониторинга (NMIS); Сервис единой авторизации (SSO); Система информационная безопасности; Система тестирования пользователей на знание правил работы в вычислительной сети ОИЯИ и др.

Сетевые сервисы сконфигурированы на двух аппаратно-программных серверных кластерах: почтовом кластере и сетевом кластере виртуальных сервисов.

Почтовый кластер строится на 5 серверных узлах и функционально разделяется на два кластера: дисковый кластер, на основе CEPH (Ceph - свободная программная объектная сеть хранения, обеспечивающая как файловый, так и блочный интерфейсы доступа) и виртуальный кластер, основанный на proxmox. Proxmox Virtual Environment (Proxmox VE) — система виртуализации с открытым исходным кодом, основанная на Debian GNU/Linux. Надежность почтового сервиса значительно повысится при реализации проекта системы высокоскоростного резервного хранения на основе дискового отказоустойчивого кластера (DRDB, CEPH) для организации “холодных” резервных копий (backup-образы VM почтового и серверного кластеров, почтовых ящиков сервиса mail.jinr.ru с “глубоким хранением”, backup-образы физических серверов NOC, хранение статистических и журнальных данных длительного срока хранения).

Виртуальный сетевой кластер содержит в себе следующие виртуальные сетевые сервисы: управление именами (DNS), кэширование данных (Proxy), управление ресурсами (IPDB), авторизация (Radius, Tacacs, Kerberos), мониторинг (NMIS); сервис единой авторизации (SSO); система информационной безопасности; система тестирования пользователей на знание правил работы в вычислительной сети ОИЯИ и др.

Также будет продолжена разработка проекта «Личный кабинет» который предоставит пользователю доступ к общеинститутским сервисам и возможность для запроса вычислительных и информационных ресурсов, требуемых для его профессиональной деятельности. Некоторые ресурсы могут иметь определенные политики их предоставления различным категориям пользователей. По требованию пользователя этот ресурс ему будет предоставлен, либо пользователь получит информацию о правилах его предоставления.

Для реализации этих задач требуется модернизация и приобретение нового сетевого оборудования и программного обеспечения.

Инженерная инфраструктура – гарантированное энергообеспечение, система климатического контроля

Инженерная инфраструктура МИВК предназначена для обеспечения надежной, бесперебойной и отказоустойчивой работы информационно-вычислительной системы и сетевой инфраструктуры. Использование комплексного подхода к построению инженерной инфраструктуры МИВК позволило проработать алгоритмы работы оборудования взаимодействие отдельных систем, как в штатном режиме эксплуатации, так и при аварийных ситуациях, чем была обеспечена непрерывность работоспособности вне зависимости от внешних факторов.

Следует обратить внимание на то, еще одним неотъемлемым свойством инженерной инфраструктуры является ее масштабируемость, возможность которой была определена на основании анализа перспектив роста вычислительного оборудования на 3 - 4 года.

Главная задача очередного этапа модернизации и развития инженерной инфраструктуры МИВК состоит в обеспечении бесперебойным электроснабжением, кондиционированием и вентиляцией всех компонент Комплекса в соответствии с ростом вычислительных мощностей. Также в 2020-2023 годах планируется модернизация комплекса противопожарной безопасности, автоматизированной системы диспетчеризации и управления инженерной инфраструктурой.

Гарантированное энергообеспечение:

В 2017 – 2019 г. была проведена модернизация системы электроснабжения корпуса 134 ЛИТ ОИЯИ с заменой трансформаторов, номиналом 1000кВА на новые трансформаторы мощностью 2500кВА а также был осуществлен переход на совместное использование источников бесперебойного питания (ИБП) и дизель-

генераторных установок (ДГУ), что соответствует самым жестким стандартам надежности, предъявляемым к функционированию МИВК в режиме 24x7x365 по 1-му классу. Созданная за первые годы реализации проекта МИВК система гарантированного и бесперебойного электроснабжения (СГБЭ) обеспечивает:

- гарантированное электропитание подключенных потребителей;
- автоматический запуск дизель-генератора;
- автоматическое переключение нагрузки с основной внешней сети электропитания на дизель-генератор и обратно;
- выдача сигнала тревоги на пост диспетчера в случае аварийного события с оборудованием ДГУ.

Комплекс системы состоящей из ИБП и ДГУ является системой гарантированного электропитания, которая обеспечивает полную энергонезависимость потребителя от внешней сети.

Дальнейшая модернизация СГБЭ должна обеспечивать все компоненты МИВК качественным электропитанием в условиях ухудшения качества или кратковременного пропадания основной сети за счет применения источников бесперебойного питания (ИБП). В настоящее время широко используются ИБП (источники бесперебойного питания), работающие по принципу двойного (или on-line) преобразования. Принцип работы ИБП (источника бесперебойного питания) данного класса заключается в следующем: входное переменное напряжение преобразуется выпрямителем в постоянное, а затем инвертором – обратно в переменное. Для повышения отказоустойчивости СГБЭ МИВК в системе бесперебойного питания применена система резервирования (2N). В связи с этим планируется увеличение мощности источников бесперебойного питания до 2.4 мВА на основе восьми APC Galaxy 7000, что полностью обеспечит в потребностях электроэнергией залы МИВК 2-ого и 4-ого этажей до 2023 года. APC Galaxy является системой с двойным преобразованием, что обеспечивает: стабилизацию напряжения и частоты, непрерывность фазы выходного напряжения в любых режимах, отсутствие влияния нагрузки на основную сеть, полная фильтрация импульсов и шумов основной сети, высокая информационная безопасность, что обеспечивает самую надежную защиту подключенного оборудования от неполадок в электросети.

Совместно с этим будет производиться модернизация щитов распределения гарантированного питания и секций распределения нагрузок для собственных нужд здания, а также создаваться система питания четырех модулей воздушного охлаждения и шкафов для сетевой и вычислительной аппаратуры комплекса МИВК. В плане развития СГБЭ МИВК предполагается:

- Создание системы питания четырех модулей воздушного охлаждения и шкафов для сетевой и вычислительной аппаратуры комплекса МИВК;
- Разработка и инсталляция системы электропитания зала 4-ого этажа;
- Установка щитов распределения гарантированного питания;
- Разработка проекта и подключение дополнительного источника электроснабжения от Дубненской ГЭС для обеспечения МИВК электропитанием первой категории;
- Завершение реконструкции питания и управления приточно-вытяжными установками;
- Модернизация схем и магистралей электроснабжения комнат мониторинга и управления МИВК на новой элементной базе.

Система климатического контроля:

Существующее на настоящий момент холодильное оборудование МИВК - это комплекс взаимосвязанных установок различных схем воздушного и жидкостного охлаждения, благодаря слаженной работе которых создается соответствующий

температурный режим, обеспечивающий функционирование Комплекса в режиме 24x7x365. Теплообменное оборудование — это испарители и конденсаторы, а также рекуператоры. Они обеспечивают осуществление важных теплообменных процессов с участием холодильного агента и хладоносителя. Насосные станции управляются автоматически, что сводит к минимуму убытки при возникновении чрезвычайных ситуаций в работе насосов, преимущественно, циркуляционных. Следует отметить, что трубопроводные коммуникации, холодильные агрегаты быстро поддаются коррозионному процессу и периодически нуждаются в восстановлении отдельных испорченных элементов.

Развитие и модернизация системы климатического контроля должна происходить с учетом новых технологических решений, применяемых в современных вычислительных центрах для создания требуемого микроклимата внутри помещения и должна удовлетворять потребностям развития всех компонент МИВК. В настоящий момент система климатического контроля МИВК содержит следующие компоненты: свободное охлаждение аппаратуры охлажденным воздухом машинного зала; подпольная подача холодного воздуха с принудительным отводом горячего вентиляционными панелями; охлаждение холодного коридора модуля меж-рядными кондиционерами; жидкостное охлаждение элементов вычислительных машин. По типу отвода тепла, система климатического контроля МИВК относится к смешанному типу исполнения, сочетающего в себе системы с испарением холодильного агента и системы с промежуточным хладоносителем.

Дальнейшее развитие системы климатического контроля связано с созданием централизованной системы холодоснабжения с сухими (для зимнего периода) и мокрыми (для летнего периода) градирнями корпуса 134 ЛИТ ОИЯИ мощностью до 1.8 мВт и возможностью расширения до 3 мВт. Реализация системы климатического контроля МИВК предполагает обеспечить подключение холодильного оборудования любого типа и принципа работы, в том числе энерго-эффективные системы холодоснабжения с фрикулингом, которые, при правильном проектировании и монтаже, позволяют повысить эффективность использования энергии вычислительного комплекса и снизить затраты на энергоснабжение.

Для развития и удовлетворения растущих потребностей всех компонент МИВК требуется создание систем климат-контроля с холодными, тёплыми и горячими коридорами в зале 2-ого этажа, установка 4-х новых модулей с меж-рядными кондиционерами в машинном зале 2-ого этажа и организация системы холодоснабжения в машинном зале 4-ого этажа. Предусматривается установка внешних градирен и организации двухконтурной системы холодоснабжения. Во внешнем контуре, связывающем градирни и промежуточные теплообменники, хладоносителем служит водный раствор этиленгликоля, а во внутреннем — между теплообменниками и кондиционерами (шкафными и/или внутрирядными) — циркулирует уже чистая вода. Необходимость использования этиленгликоля во внешнем контуре объясняется низкой температурой замерзания этого вещества. Использование градирен обеспечит функцию «бесперебойного охлаждения» при этом, в случае возникновения перебоев с подачей электроэнергии, система способна обеспечить охлаждение вычислительного комплекса до запуска ДГУ за счет холодной воды, запасенной в баках-аккумуляторах. Эта возможность реализуется за счет того, что для поддержания работы системы кондиционирования достаточно только обеспечить функционирование перекачивающих насосов и вентиляторов кондиционеров от ИБП. Отвод тепла для охлаждения высоконагруженных стоек МИВК (превышающих 20 кВт) предусматривает использование внутрирядных кондиционеров.

Еще одной технологией, которая будет использоваться при модернизации системы климатического контроля МИВК является рекуперация тепла (разновидность фрикулинга), играющая ключевую роль в создании эффективной системы воздушного

охлаждения помещения машинного зала. Эффективность такого решения определяется коэффициентом PUE, представляющим собой отношение общего количества потребляемой электроэнергии (серверы + система охлаждения) к количеству электроэнергии, потребляемой серверами. При внедрении в систему вентиляции установок рекуперации централизованного и локального типа, ожидаемый показатель PUE составит 1,2.

Также, в связи с ожидаемым увеличением вычислительных мощностей суперкомпьютера ГОВОРУН планируется расширение системы охлаждения на горячей воде до 600 кВт.

Планируемый прирост потребления электропитание и холодоснабжения приведен в таблице 2.

Таблица 2.

	2020	2021	2022	2023
Энергопотребление	500 кВа	600 кВа	800 кВа	1000 кВа
Холодоснабжение	300 кВт	500 кВт	650 кВт	800 кВт

Финансирование развития и модернизации инженерной инфраструктуры будет осуществляться за счет привлечения финансирования из бюджета лаборатории и других источников.

Off-line NICA кластер в рамках МИВК

В ОИЯИ активно ведутся работы по сооружению уникального ускорительного комплекса NICA, который требует новых подходов к реализации распределенной инфраструктуры для обработки, анализа и хранения экспериментальных данных.

Создаваемый компьютеринг для мегапроекта NICA должен обеспечить прием данных с детекторов, передачу данных на обработку и хранение. Для реализации этих задач к компьютерингу предъявляются определенные требования, включающие в себя требования к сетевой инфраструктуре, вычислительным архитектурам, системам хранения, а также к соответствующему программному обеспечению (ПО) как системному, так и прикладному ПО для обработки и анализа данных. Разрабатываемые модели компьютеринга должны учитывать тенденции развития сетевых решений, вычислительных архитектур и IT-решений, позволяющих объединять суперкомпьютерные (гетерогенные), грид- и облачные технологии и создавать на этой основе распределенные, программно-конфигурируемые HPC-платформы. Использование таких решений для обработки и анализа данных требует создания программных сред, обеспечивающих необходимую абстракцию кода, позволяющую реализовать необходимую функциональность для широкого спектра вычислительных средств.

Одним из важнейших компонентов компьютерного комплекса NICA является компьютерная сеть, объединяющая кластеры и сервера внутри кластеров в общую вычислительную инфраструктуру комплекса.

Распределенный информационно-вычислительный кластер комплекса NICA в его базовой конфигурации должен обеспечить обработку и хранение до 10 петабайт данных в год. Комплекс состоит из территориально распределенных on-line и трех off-line кластеров (Off-line кластер 216, Off-line кластер «Центр NICA», Off-Line кластер ЛИТ). Таким образом, как и все крупные центры обработки и хранения данных с больших физических установок, этот вычислительный комплекс является территориально-распределенным и объединяет все компоненты, расположенные как на площадке ЛФВЭ, так и на площадке ЛЯП, единой высокоскоростной локальной много-площадочной компьютерной сетью в 4 x 100 Гб/с.

Сетевое оборудование центрального телекоммуникационного узла, ядро системы коммутации и маршрутизации on-line и off-line кластеров, расположено на двух площадках ОИЯИ и реализуется на четырех многофункциональных коммутаторах семейства Cisco Nexus 9504 с подключением по full-mesh топологии для получения максимальной надежности и производительности.

Основной задачей off-line кластера ЛИТ является создание двухуровневой (диско-ленточной) системы хранения для экспериментов NICA, поскольку после первого этапа этих экспериментов потребуются значительные объемы хранения (от 2,5 ПБ до 70 ПБ в год).

Одним из основных компонентов компьютерного блока проекта «Комплекс NICA» является кластерная файловая система. В настоящее время в этом качестве применяются несколько кластерных файловых систем: GPFS, Lustre, dCache, Ceph, EOS, GlusterFS и др. Для On-line и off-line кластеров лучше всего подходит файловая система EOS. EOS – это распределённая, параллельная, линейно масштабируемая файловая система с возможностью ее защиты от сбоев.

Особое внимание уделяется новым перспективным направлениям в создании распределенных хранилищ данных (DataLake), интеграции Больших данных и суперкомпьютерных технологий, методов «машинного обучения».

Реализация различных моделей компьютеринга для мегапроекта NICA требует подтверждения работоспособности модели, т.е. удовлетворения требованиям к временным характеристикам приема данных с детекторов с их последующей передачей на обработку, анализ и хранение, а также требованиям к эффективности моделирования и обработки событий в эксперименте. Для этих целей необходимо проведение испытаний в реальной программно-аппаратной среде, которая должна содержать все требуемые компоненты. Такой средой может стать введенный в эксплуатацию в ЛИТ суперкомпьютер «ГОВОРУН», содержащий самые современные на сегодняшний день вычислительные ресурсы и ресурсы хранения данных, включающие сверхбыструю систему хранения данных, обеспечивающую высокую скорость приема данных до сотни гигабайт в секунду, с возможностью линейного расширения производительности и ёмкости системы.

В таблице 3 приведены данные по основным подсистемам комплекса NICA (размер событий, скорость передачи и общий объем данных в сутки), примененные для расчета основных характеристик вычислительного блока комплекса NICA.

Таблица 3.

Данные об основных подсистемах комплекса NICA

Подсистемы комплекса NICA	Темп приема данных (GB/s)	Темп генерации событий (kHz)	Размер события (MB)	Полный размер событий в секунду (GB/c)	Средняя скорость передачи данных (Gb/s)	Объем данных в сутки (TB/24 hours)
Ускорители						
2019 - 2020	0,5				0,1	4
>2020	1,5				0,3	10
BM@N						
2019-2020		30	0,5	15	20	100
>2020		50	0,7	35	100	300
MPD						
2021-2022		0,1	1	0,1	10	200

>2022		6	2	12	100	600
SPD						
>2023		50	0.5	25	100	1000

Сетевая инфраструктура компьютерных кластеров комплекса NICA относится к базовой конфигурации и осуществляется за счет привлечения финансирования из бюджетов экспериментов комплекса NICA и других источников.

Информационно-вычислительная среда для нейтринных экспериментов с участием ОИЯИ

Потребности современных нейтринных экспериментов в объемах хранилищ данных и вычислительных мощностях, необходимых для получения значимого научного результата, существенно возросли. Для эффективного использования ресурсов информационно-вычислительной среды нейтринных экспериментов, в которых принимают участие сотрудники ОИЯИ, руководствами ЛИТ и ЛЯП было принято решение о создании единой нейтринной информационно-вычислительной платформы (среды) на базе ресурсов МИВК.

На данный момент и в перспективе нескольких лет наибольшие потребности в ресурсах хранения и вычислительных мощностях испытывают следующие нейтринные научные эксперименты с участием ОИЯИ: Baikal-GVD, JUNO, NOvA.

Baikal-GVD

Эксперимент Baikal-GVD использует ресурсы облачной инфраструктуры ОИЯИ в качестве вычислительных, а также ресурсы облачного хранилища в качестве ресурсов для хранения данных.

В планах локальной группы эксперимента увеличивать количество облачных ресурсов на 300 ядер ЦПУ, 3000 ГБ ОЗУ и 200 ТБ дискового пространства ежегодно.

Суммарное планируемое количество ресурсов эксперимента по годам представлено в таблице 4.

Таблица 4.

	2020	2021	2022	2023
Общее количество ядер, шт.	684	984	1284	1584
Общий объем ОЗУ, ТБ	6.75	9.75	12.75	15.75
Объем дискового пространства, ТБ	400	600	800	1000

JUNO

В рамках эксперимента JUNO после запуска установки ожидается поступление первичных данных в объеме 2 ПБ/год. Эксперимент запланирован на 20 лет. Соответственно, полный набор необработанных данных к концу эксплуатации JUNO оценивается в 40 ПБ. Необработанные данные будут долговременно храниться на ленточных накопителях.

В рамках коллаборации JUNO было достигнуто соглашение о том, что необработанные данные будут храниться по крайней мере в 2-х дата центрах: один в Китае (ИФВЭ), один в Европе. Для передачи планируется использовать инфраструктуру LHCONE.

Одну полную копию необработанных данных планируется хранить в МИВК ОИЯИ.

Помимо необработанных данных, хранящихся на ленточных накопителях, необходимо предоставить дисковое хранилище, используемое при обработке данных. Оценка объемов по типам данных представлена в таблице 5.

Таблица 5.

Тип данных	Требуемый объем, ТБ		
	Постоянная часть	На каждый год	Всего (на 20 лет)
Реконструкция из необработанных данных		10	200
Калибровочные данные		1	20
Моделирование МК		150	3000
Анализ данных	100		100
Всего	100	161	3500

Как видно из таблицы 5, основная часть пространства требуется для хранения данных моделирования (МК). Данные МК будут обновляться 2 раза в год, а их объем будет пропорционален объему набранных данных.

Остальные типы данных требуют на порядок меньшего объема. Дополнительный объем пространства, который потребуется для хранения вторичных данных, в дополнение к необработанным, к концу эксперимента оценивается в 3.5 ПБ.

Потребности всего эксперимента JUNO в вычислительных серверах оцениваются в 12000 ядер ЦПУ, которые будут использоваться как для непрерывной обработки необработанных данных и моделирования, так и для анализа.

Предварительный вклад ОИЯИ к концу работы эксперимента оценивается в 4000 ядер ЦПУ, предоставляемых коллаборации JUNO.

Кроме того, активно изучается возможность использования графических сопроцессоров (GPU) для обработки данных эксперимента. В частности, GPU могут быть использованы для реконструкции положения и энергии события. GPU будут использованы программным обеспечением GNA, разрабатываемым в Лаборатории Ядерных Проблем для нужд нейтринных экспериментов.

Использование GPU для указанных задач находится на стадии исследования, поэтому на момент написания данного документа сложно делать оценки необходимого количества ядер GPU, которое потребуется для анализа данных JUNO.

Суммарное планируемое количество ресурсов эксперимента по годам представлено в таблице 6.

Таблица 6.

	2020	2021	2022	2023
Общее количество ядер, шт.	2096	3096	4096	5096
Общий объём ОЗУ, ТБ	32.5	48.5	64.5	80.5
Объём дискового пространства, ПБ	1.13	1.63	2.13	2.63
Ёмкость ленточного хранилища, ПБ	0	4	6	8
Объём дискового пространства для кэша ленточного хранилища, ПБ	0	0.4	0.6	0.8

NOvA

Эксперимент NOvA уже на протяжении нескольких лет успешно использует ресурсы облачной инфраструктуры ОИЯИ в качестве вычислительных, а также ресурсы облачного хранилища и хранилища на базе dCache в качестве ресурсов для хранения данных.

В планах локальной группы эксперимента увеличивать количество облачных ресурсов на 120 ядер ЦПУ, 640 ГБ ОЗУ и 100 ТБ дискового пространства ежегодно.

Суммарное запланированное количество ресурсов представлено в таблице 7.

Таблица 7.

	2020	2021	2022	2023
Общее количество ядер, шт.	660	780	900	1030
Общий объём ОЗУ, ТБ	3.14	3.78	4.42	5.06
Объём дискового пространства, ТБ	388	488	588	688

Все аппаратные ресурсы для нейтринных экспериментов планируется приобретать за счёт средств самих экспериментов. Инфраструктурное обеспечение (стойки, питание и охлаждение) предоставляется Лабораторией информационных технологий.

Развитие грид-компоненты МИВК – Tier1 центра эксперимента CMS и интегральной компоненты МИВК Tier2/ЦИВК

Ресурсы грид-центров МИВК ОИЯИ являются частью глобальной инфраструктуры грид WLCG (Worldwide LHC Computing Grid), созданной для экспериментов на Большом адронном коллайдере. ЛИТ ОИЯИ активно участвует в глобальном проекте WLCG, который имеет своей целью предоставлять распределенные вычислительные ресурсы для ежегодной обработки, анализа и хранения данных. Эти работы по использованию грид-инфраструктуры в рамках проекта WLCG ведутся в сотрудничестве с коллаборациями CMS, ATLAS, Alice и основными международными центрами, в которых функционируют как Tier1 центры для эксперимента CMS (CH-CERN, DE-KIT, ES-PIC, FR-CCIN2P3, IT-INFN-CNAF, US-FNAL-CMS), так и грид-центры уровня Tier2, расположенные в более чем 170 вычислительных центрах в 42 странах мира. С начала 2015-го года в ЛИТ ОИЯИ работает полномасштабный WLCG сайт уровня Tier1 для эксперимента CMS. Важность развития, модернизации и расширения вычислительной производительности и систем хранения данных этого центра диктуется программой научных исследований эксперимента CMS, в котором активно участвуют физики ОИЯИ в рамках коллаборации RDMS CMS. Сам факт создания и поддержки работы сайта уровня Tier1 в ОИЯИ свидетельствует о высоком уровне квалификации сотрудников ЛИТ ОИЯИ, обеспечивающих функционирование этой компоненты МИВК. Таких центров для CMS всего 7 в мире, и сайт ОИЯИ стабильно занимает 2-е место по числу обработанных событий, демонстрируя почти 100% уровень доступности и надежности.

В отношении аппаратного обеспечения планируется линейное увеличение характеристик Tier1, Tier2/ЦИВК в соответствии с цифрами, заложенными в семилетний план развития ОИЯИ по направлению «Информационные технологии».

К лету 2021 года на LHC планируется запустить Run3. По планам CMS и ATLAS не требуется радикального увеличения счётных ресурсов и ресурсов хранения на этом этапе. ALICE планирует увеличение своих потребностей в ресурсах для Run3 практически в 2 раза. Выполнение контрольных цифр семилетнего плана позволит

обеспечить для всех коллабораций LHC на Tier1 и Tier2 в ОИЯИ необходимый уровень ресурсов.

В предстоящие годы необходимо существенно увеличить объём для хранения информации на системе EOS, которую мы ввели в эксплуатацию в начале 2019 года. Эта система хранения и доступа к данным должна стать основной системой для всех компонент МИВК, а в дальнейшем и для всех вычислительных ресурсов ОИЯИ. Есть перспективы для использования EOS для коллабораций WLCG.

Требуется развития система хранения данных на роботизированных ленточных библиотеках. Кроме ленточного робота для эксперимента CMS в Tier1, требуется в 2020-2021 годах создать ленточную библиотеку и для экспериментов на комплексе NICA, а также для других групп пользователей. Для этого нужно предусмотреть обновление существующей ленточной библиотеки IBM TS3500 до уровня TS4500 с увеличением её ёмкости до 30-40 ПБ в 2022-2023 гг.

В таблице 8 приведен планируемый объем ресурсов по годам.

Таблица 8.

	2020	2021	2022	2023
Tier1 CPU, kHS06	200	240	300	350
Tier1 диск, ПБ	8.8	10.88	13.1	16.1
Tier1 MSS, ПБ	25	30	35	42
Tier2 CPU, kHS06	110	130	150	170
Tier2 диск, ПБ	4.3	4.6	4.7	5
EOS ALICE, ПБ	1.2	1.4	1.8	2
EOS МИВК, ПБ	10	30	50	60
MSS/МИВК, ПБ	10	20	30	40

Программное обеспечение (ПО) на Tier1, Tier2/ЦИВК требует существенного обновления уже в 2019 году и последующей постоянной поддержки и обновления. Это касается как промежуточного ПО WLCG на Tier1 и Tier2, так и общего ПО ЦИВК.

На счётных фермах Tier1 и Tier2/ЦИВК необходимо установить новые системы пакетной обработки и планировщик заданий. Установленные системы Torque и Maui уже устарели и не способны обслуживать увеличивающееся число счётных слотов/ядер, а также растущее число обслуживаемых пользователей и виртуальных организаций WLCG. Мы будем устанавливать свободно распространяемое ПО, так как имеющиеся коммерческие очень дороги. Есть две перспективные для установки системы – HTCondor и Slurm. Обе системы будут протестированы на наших ресурсах DevLab.

Дальнейшее развитие должна получить единая система доступа к программному обеспечению CVMFS. CVMFS рассматривается так же, как и EOS, как единая универсальная система доступа к различному ПО, установленному на одном сервере и доступному на всех интерактивных и счётных машинах МИВК и всего ОИЯИ. CVMFS достаточно давно и очень успешно применяется для этих целей многими виртуальными организациями WLCG. В ближайшем будущем CVMFS заменит хранилища специализированного ПО в AFS.

Облако ОИЯИ

По мере развития ресурсной базы облака ОИЯИ его вычислительные ресурсы и дисковое пространство СХД планируется предоставить как отдельным пользователям ОИЯИ, так и различным научным проектам, по которым ОИЯИ имеет соответствующие обязательства. Ожидается существенное увеличение спроса на облачные ресурсы со стороны нейтринных экспериментов (NOvA, JUNO, Daya Bay, Baikal-GVD и другие). Переход пользователей перечисленных экспериментов на использование централизованных облачных ресурсов позволит избавиться от необходимости локальным группам учёных самостоятельно поддерживать вычислительные ресурсы и хранилища данных, полностью сосредоточившись на решении своих научных задач.

В таблице 9 приведено ориентировочное количество ресурсов, которое планируется приобрести за средства Лаборатории информационных технологий к концу указанного года.

Таблица 9.

	2020	2021	2022	2023
Общее количество ядер, шт.	2000	2400	2800	3200
Общий объём ОЗУ, ТБ	10	12	14	16
Емкость дискового пространства, ПБ	1.5	2	2.5	3

Расширение гетерогенной платформы HybridIT, включающей в себя суперкомпьютер «Говорун»

Развитие гетерогенной платформы HybridIT будет осуществляться как в плане наращивания вычислительных ресурсов суперкомпьютера «ГОВОРУН», так и в плане развития сервисов, развернутых на платформе.

Первое направление связано как с возрастающими запросами пользователей ОИЯИ, особенно в области теоретических исследований в рамках квантовой хромодинамики на решетках, и удовлетворением запросов пользователей из стран-участниц, так и с все более возрастающей вовлеченностью суперкомпьютера в реализацию ведущих проектов ОИЯИ - мегапроекта NICA и нейтринной программы. Наращивание вычислительных мощностей суперкомпьютера будет осуществляться как за счет увеличения числа узлов CPU-компоненты, реализованной на жидкостном охлаждении, так и за счет увеличения числа графических ускорителей вычислений от Nvidia с учетом развития вычислительных архитектур.

Второе направление связано с развитием программно-информационных сервисов, предоставляемых пользователям гетерогенной платформы. В частности, планируется развитие экосистемы для задач ML/DL и анализа больших данных, которая в первую очередь предназначена для развития алгоритмов на основе рекуррентных и свёрточных нейронных сетей с глубоким обучением для решения задач быстрого распознавания множественных треков в экспериментах физики частиц, в том числе для мегапроекта NICA и нужд нейтринных экспериментов. Также будет развиваться сервис HLIT-VDI, предназначенный для расчетов в рамках пакетов прикладных программ с развитым графическим интерфейсом, таких как Maple, Mathematica, Matlab, COMSOL Multiphysics, FLUKA и др., активно использующихся в Лабораториях Института, как для теоретических исследований, так и для решения инженерных и прикладных задач. В плане улучшения работы с пользователями и более эффективного использования ресурсов платформы HybridIT в программно-информационную среду будет внедрен личный кабинет. Данный сервис предоставит возможность пользователю создавать запросы на решение различного рода проблем,

возникающих в ходе работы, например, установка необходимого ПО, устранение технических неполадок, предоставление информации по работе в системе, статистику использования ресурсов платформы по всем компонентам, в том числе визуализации состояния загруженности вычислительных узлов, а также текущий статус доступных ресурсов в очередях и мониторинг выполнения собственных задач.

В 2019 году планируется дооснастить суперкомпьютер ГОВОРУН «теплым» хранилищем на базе SSD "Ruler" под управлением файловой системой Lustre общим объемом 384 TB с переносом на него домашних директорий пользователей и данных по проектам (MPD и VM@N), что, совместно с быстрой СХД, позволит реализовать эффективную иерархию обработки данных.

Увеличение производительности суперкомпьютера ГОВОРУН, а также инженерное обеспечение, включающее в себя систему жидкостного охлаждения CPU-компоненты, бесперебойное электропитание и развитие сетевой инфраструктуры платформы будет проводиться согласно 7-му плану развития ОИЯИ по направлению «Информационные технологии». Суммарное увеличение производительности CPU- и GPU-компонент составит 90 Tflops для операций с двойной точностью в год. Ниже, в таблице 10, приведено планируемое увеличение производительности суперкомпьютера ГОВОРУН по компонентам.

Таблица 10

Гетерогенная платформа HybriLIT. Суперкомпьютер ГОВОРУН.	2020	2021	2022	2023
Производительность CPU - компоненты (Tflops, для операций с двойной точностью)	260	320	380	450
Производительность GPU - компоненты (Tflops, для операций с двойной точностью)	330	360	390	420
Суммарная производительность суперкомпьютера (Tflops, для операций с двойной точностью)	590	680	770	870

Следует отметить, что прирост производительности суперкомпьютера сверх плана будет определяться потребностями пользователей, в том числе потребностями мегапроекта NICA и нейтринной программы, а осуществляться за счет привлечения финансирования из бюджетов экспериментов, совместных грантов и других источников.

Система хранения данных (озеро ОИЯИ)

Важнейшим направлением в плане развития МИВК является модернизация систем хранения данных. В 2020-2023 году ожидается существенное увеличение объемов информации, которую необходимо будет сохранять и обрабатывать и объемы которой были не совсем понятны при формировании семилетнего плана развития ОИЯИ на 2017-2023 гг. При этом и сегодня оценить требования к системам хранения очень сложно в виду эволюции моделей данных и моделей обработки. Тем не менее, необходимо обеспечить выполнение следующих требований:

- предоставить достаточный ресурс для хранения и оперативного доступа к информации в процессе обработки;
- предоставить постоянно расширяемый ресурс для долговременного хранения информации, объём и скорость которого должна быть сбалансирована с соответствующими потоками информации;
- обеспечить возможность использования системы управления данными, автоматизирующую процессы взаимодействия с системами хранения;
- автоматизировать поддержку системы хранения с целью оптимизации и минимизации затрат.

В предстоящие годы необходимо существенно увеличить объём для хранения информации на системе EOS, которую мы ввели в эксплуатацию в начале 2019 года. Эта система хранения и доступа к данным должна стать основной системой для всех компонент МИВК. В дальнейшем и для всех вычислительных ресурсов ОИЯИ. Есть перспективы для использования EOS для коллабораций WLCG. Уже сейчас система применяется для хранения данных с VM@N. Хранение особо важных данных или данных, распределённых территориально, требует создания реплик, что уменьшает доступное пространство, кратное числу реплик. Часть дисковых ресурсов EOS установки может быть закуплена на средства самими экспериментами и лабораториями ОИЯИ, такие серверы могут быть установлены не только в ЛИТ, но и в других подразделениях ОИЯИ и объединены в систему с единым управлением.

Прогноз изменения объёмов для хранилищ WLCG, NICA и прочих виртуальных организаций исходит из организационных различий экспериментов. Механизм pledged (обещанных) ресурсов для WLCG позволяет определить (задать) рост объёмов и его временную динамику. Для Tier1 CMS ожидается увеличение потока данных, начиная с 2020 года. Запросы CMS на объёмы хранилищ данных будут ограничиваться предложениями сайтов. В настоящее время CERN оценивает увеличение потока данных 2021 года к 2018 году на фактор 1.5. Анализ динамики увеличения за 2015-2018 года показывает прогрессию, которую CERN характеризует как адиабату. Исходя из того, что на 2019 год нами заявлена цифра 10 ПБ по лентам и 10 ПБ по дискам, к 2023 году следует заявить цифру 20-30 ПБ по лентам и 15-20 ПБ по дискам. Предлагается расширить хранилище в Tier2 с 2 до 4-5 ПБ к 2023 году. Расширение объёма хранилищ dCache в Tier1 и Tier2 практически соответствует 7-летнему плану ЛИТ. Одним из вариантов развития хранилищ Tier1 и Tier2 является объединение и импорт локальных установок сайтов WLCG в «озеро данных» - Data Lake, такие проекты уже находятся на стадии разработки и тестирования в WLCG. Это, конечно, не отменяет постоянное наращивание ресурсов отдельных сайтов WLCG, но может сгладить неравномерность увеличения ресурсов в разных организациях. Мы поддерживаем ALICE на уровне Tier2 на отдельной установке EOS. Это определено правилами коллаборации и не может быть изменено нами. По планам эксперимента, начиная с 2021 года, интенсивность потока возрастёт в 2 раза. Нам необходимо увеличить объём хранилища для ALICE в 1,5-2 раза.

Прогноз изменения объёмов для не LHC экспериментов представляет более сложную задачу. К 2020 году мы заменим весь dCache Tier2/ЦИВК на EOS/МИВК. Данные виртуальных организаций WLCG, локальных пользователей и групп пользователей будут перемещены в EOS/МИВК. Это сократит затраты и усилия по поддержке больших хранилищ данных в ЛИТ и ОИЯИ. EOS/МИВК будет доступен во всём ОИЯИ и в WLCG.

В связи со значительным ростом потребностей экспериментов NICA и расширением использования EOS/МИВК, необходимо запланировать существенный рост мощностей этого хранилища. Разумно запланировать значительное и постоянное увеличение объёмов EOS/МИВК, при этом следует отметить, что этот проект не был отражён в 7-ми летнем плане развития.

Отметим, что, кроме коллабораций LHC, на EOS/МИВК будут храниться данные и других коллабораций: JUNO, BES и т.д.

Для долговременного хранения ничего, кроме лент, не предвидится. В начале периода планирования ёмкость картриджа равна для LTO8 – TS1160 12-20 ТБ. К концу периода она вырастет до 50-60 ТБ. Это означает, что ёмкость существующей библиотеки TS3500 можно будет повысить апгрейдом до 50-60 ПБ, а ёмкость планируемой – на 2020 год до 120-150 ПБ к приобретенной в 2019 году.

Для дисковых накопителей к началу периода мы имеем 16-20 ТБ на диск, к концу ожидается 40, т.е. увеличение плотности в 2–2.5 раза. Хотя цена быстрой памяти

SSD/NAND падает быстро, она ещё не так привлекательна для длительного хранения информации с предоставлением online доступа (HDD), но для некоторых приложений она может быть использована.

В промежуток 2020-2023 года нет устойчивых прогнозов объёма информации для экспериментов NICA и нейтронной программы.

Исходя из этого, следует сосредоточиться на создании инфраструктуры длительного хранения, т.е. установки новых хранилищ и модернизации существующих. Расширение закупку необходимого количества картриджей следует возложить на эксперименты (за исключением LHC).

При планировании расширения надо исходить из двух положений. Дисковая память расширяется в темпе наращивания процессоров, ленточная память – в соответствии с ростом потока данных.

Ориентиры на конец периода планирования (2023 год) приведены в таблице 11.

Таблица 11.

Название	Объём дисковых пулов, ПБ	До какого объёма расширяемся, ПБ	Объём лент, ПБ	До какого объёма расширяемся, ПБ
T1 Buffer	1	2-3	8	40
T1 DISK	8.3	15-20	-	
T2	2	7	-	
T2/ЦИВК	0.14	Перенос в EOS/МИВК	-	
EOS/МИВК	4	60		
NICA ленты	0		0	30
Облако	1.0	2.5	-	-
HybriLIT	0.05	0.5	-	-

Кроме наращивания ресурсов системы хранения (см. табл.9), планируется:

- постоянное развитие программного обеспечения в течение периода планирования,
- постоянная поддержка dCache, переход на новые версии Enstore,
- полная авторизация доступа к хранилищам в рамках ОИЯИ, включая хранилища NICA на площадке ЛФВЭ,
- включение EOS/МИВК в WLCG в качестве оппортунистического хранилища данных.

Унифицированная система управления ресурсами МИВК

На текущий момент МИВК состоит из целого ряда различных вычислительных ресурсов и ресурсов хранения данных. Естественная гетерогенность представленных систем усложняет процесс их эффективной эксплуатации. В понятие эксплуатации в данном контексте включается и использование ресурсов пользователями, и поддержка, мониторинг, управление ресурсами со стороны ЛИТ. Отсутствие

унифицированной системы управления существенно влияет на оценку эффективности использования ресурсов.

Основными назначениями унифицированной системы управления ресурсами являются:

- предоставление возможности обработки больших объемов данных;
- обеспечение возможности организации массивных вычислительных задач;
- оптимизация эффективности использования вычислительных ресурсов и ресурсов хранения;
- эффективный мониторинг загрузки ресурсов;
- консолидация учета использования ресурсов;
- обеспечение единого интерфейса доступа к ресурсам.

К системе управления ресурсами можно предъявить следующие основные требования:

- единый интерфейс к вычислительным ресурсам (пользовательский и программный);
- единый интерфейс к системам хранения данных (пользовательский и программный);
- единая система аутентификации и авторизации пользователей с поддержкой групп пользователей и виртуальных организаций, интегрированная с внешними системами аутентификации;
- возможность управление квотами и приоритетами использования ресурсов.

Унифицированная система управления ресурсами является многокомпонентной системой. Часть компонент является самостоятельными системами, которые могут быть использованы независимо друг от друга, другие компоненты являются вспомогательными. Основные компоненты системы:

- система управления нагрузкой на вычислительные ресурсы (заданиями и задачами);
- система управления данными;
- информационная система;
- система аутентификации и авторизации.

К вспомогательным компонентам относятся:

- система мониторинга;
- система учета;
- сервис управления конфигурациями рабочих узлов и серверов;
- сервис развертывания прикладного ПО.

Создание унифицированной системы управления ресурсами МИВК ОИЯИ не предполагает разработку всех компонент "с нуля". Предполагается интеграция и, при необходимости, доработка уже существующих систем.

Специалисты ЛИТ ОИЯИ принимали участие и обладают достаточным опытом в разработке и интеграции комплексных программных продуктов для реализации подобной системы.

Унифицированная система управления потоками данных

В ОИЯИ проводятся десятки физических экспериментов, каждый из которых создает и поддерживает свою вычислительную инфраструктуру или пользуется уже готовой IT-инфраструктурой ОИЯИ и институтов-участников. ЛИТ предоставляет экспериментам широкий набор IT-сервисов для вычислений: вычислительные мощности, сервисы хранения, аутентификации и авторизации и т.д., планирует обеспечить единый пользовательский и программный интерфейс к вычислительным ресурсам и системам хранения, но не предлагает готовых решений по организации модели обработки. Несмотря на то, что каждый из экспериментов является уникальным, тем не менее, процессы обработки данных различных экспериментов содержат схожие этапы. В настоящее время обычной является ситуация, когда

каждый из новых экспериментов или разрабатывает свою систему управления обработкой, или адаптирует какую-то из систем, изначально разработанную для другого эксперимента.

Проблема организации вычислений стоит как перед экспериментами, оперирующими небольшими по современным меркам объемами данных, так и перед проектами, работающими с так называемыми Большими данными. Для первых разработка подобной системы сама по себе является очень сложной задачей, на которую у экспериментов просто не хватает ресурсов. Для вторых разработка эффективной системы управления потоками данных является залогом успешности самого эксперимента [доклад Рольфа Хойера на семинаре по Хиггсу].

В настоящее время нет ни одной реализации системы управления вычислениями (workflow management system), которую безоговорочно можно было бы назвать универсальной. Учитывая количество проводящихся в ОИЯИ экспериментов, разработка подобной системы или в виде универсального продукта, или, скорее, в виде расширяемой платформы является крайне перспективным направлением. Наличие унифицированной системы управления обработкой данных позволит упростить процесс запуска обработки данных новых экспериментов и оптимизировать использование имеющихся вычислительных ресурсов, предоставит кардинально новый уровень сервиса. Для ЛИТ наличие подобной унифицированной системы позволит повысить эффективность использования вычислительных ресурсов за счет лучшего прогнозирования потоков данных.

Система должна обеспечивать:

- возможность предоставления изолированного интерфейса каждому эксперименту,
- возможность формирования цепочки обработки данных в соответствии с компьютерной моделью эксперимента,
- выполнение обработки на доступных эксперименту вычислительных ресурсах.

Система состоит из:

- интерфейса формирования заданий, цепочек и групп заданий,
- базы данных для хранения определений заданий,
- системы генерации задач на основании заданных параметров, подготовки входных данных через систему управления данными унифицированной системы управления ресурсами МИВК, подбор подходящих вычислительных ресурсов, отсылки задач в систему управления нагрузкой унифицированной системы управления ресурсами МИВК и обеспечения контроля за их выполнением.

СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА МИВК ЛИТ ОИЯИ

Дальнейшее развитие МИВК во многом определяется развитием уровня сервисов, которые он предоставляет. Для поддержания уровня качества предоставляемых сервисов требуется организация функционального мониторинга и мониторинга сервисов. Настоящий проект предусматривает дальнейшее развитие системы мониторинга и ее расширение до информационно–аналитической системы мониторинга, диагностики компонентов системы и определения нештатных ситуаций. При возникновении неполадок разрабатываемая система должна сохранять всю информацию, необходимую для идентификации нештатной ситуации.

В задачи мониторинга сервисов входит:

1. Проверка функционирования сервисов при помощи тестовых задач.
2. Мониторинг производительности сервисов.
3. Рассылка оповещений о нештатных ситуациях.
4. Визуализация состояния сервисов.

План реализации содержит следующие шаги:

1. Сбор требований для мониторинга разных сервисов.
2. Проектирование системы мониторинга.
3. Разработка системы.
4. Добавление сервисов и введение в эксплуатацию.

В 2020 году будет добавлен в систему мониторинг параметров внешней инженерной инфраструктуры ЛИТ ОИЯИ, включающей в себя следующие компоненты: дизель генераторы, градирни, внешние элементы системы охлаждения. Будет продолжена работа по расширению системы мониторинга путем включения в систему мониторинга новых узлов вычислительной инфраструктуры Tier1, Tier2, ЦИВК, суперкомпьютера «ГОВОРУН».

Работы по разработке дополнительных средств анализа и визуализации на базе Graphana запланированы на 2021 год. Продолжены будут и работы по включению в систему мониторинга новых вычислительных ресурсов и элементов системы хранения МИВК.

Создание алгоритма, обеспечивающего отказоустойчивость основного узла системы мониторинга, запланировано на 2022 год.

Планируется разработка новых технологических подходов мониторинга, анализа и оптимизации распределенных компьютерных систем обработки данных для крупных научных экспериментов на основе технологий Больших данных. Предусмотрены работы по созданию интеллектуального мониторинга МИВК ОИЯИ в рамках эксплуатации комплекса в распределенной среде WLCG (в частности, инфраструктур Tier2 и CMS Tier1), что позволит обнаруживать и предсказывать неполадки функционирования базовых сервисов, оборудования и инженерных систем.

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Тенденция возникновения угроз информационной безопасности выявили необходимость появления нового класса систем защиты информации. В связи с этим, необходимо выработать решения, позволяющие сформировать и обеспечить политики информационной безопасности при работе IT-администраторов, аудитов и пользователей корпоративных информационных систем ОИЯИ. Выработанные решения должны помогать соблюдать требования IT-безопасности, защищая закрытые персональные данные.

Задачами системы безопасности является мониторинг действий пользователей и системных администраторов и оценка угроз их действий.

В настоящий момент система информационной безопасности ОИЯИ построена по технологии Intrusion Detection Systems (IDS). В связи с тенденцией роста угроз информационной безопасности, система нуждается в усовершенствовании. Для повышения эффективности работы системы планируется:

- внедрение системного сервиса анализа пакетов данных DPI с помощью специализированного шлюза (gateway);

- адаптация 6-ти уровневой структуры управления информационной безопасностью в ОИЯИ, диверсифицированной для:

- 1) общедоступной публичной сети,
- 2) сетей вычислительных комплексов Tier1, Tier2, МИВК, NICA,
- 3) сети Управления ОИЯИ,
- 4) сети СКУД (система контроля управления доступом),
- 5) сетей исследовательских физических установок,
- 6) особо важных сетей (ИБР, NICA, т.д.).

Функциональные возможности усовершенствованной системы безопасности должны включать следующие компоненты:

- централизованный контроль доступа в реальном времени;

- управление акантами (в том числе на целевых устройствах);
- обеспечение единой точки входа в систему Single Sign-On (SSO);
- отслеживание активности и записи сеансов (таких как RDP, SSH, VNC и др.);
- формирование статистики и отчетов о действиях пользователей.

Заключение

Запланированные выше работы по модернизации и дальнейшему масштабированию ресурсов МИВК обусловлены быстрым развитием информационных технологий и новыми требованиями экспериментов, проводимых в ОИЯИ и с участием ОИЯИ. Многофункциональность, высокая надежность и доступность в режиме 24x7, масштабируемость и высокая производительность, надежная система хранения данных, информационная безопасность и развитая программная среда для различных групп пользователей являются основными требованиями, которым должен удовлетворять МИВК как современный научный вычислительный комплекс.

Следует отметить, что часть работ, в основном по экспериментам на LHC, ведется в рамках участия в проекте WLCG и связана с функционированием в ОИЯИ вычислительных ресурсов и систем хранения, включенных в грид среду и обеспечивающих обработку, хранение и анализ данных экспериментов на LHC. Особое место в этой инфраструктуре занимает полномасштабный WLCG сайт уровня Tier1 для эксперимента CMS на LHC. Важность развития, модернизации и расширения вычислительной производительности и систем хранения данных этого центра диктуется программой научных исследований эксперимента CMS, в котором активно участвуют физики ОИЯИ в рамках коллаборации RDMS CMS. Сам факт создания и поддержки работы сайта уровня Tier1 в ОИЯИ свидетельствует о высоком уровне квалификации сотрудников ЛИТ ОИЯИ, обеспечивающих функционирование этой компоненты МИВК. Таких центров для CMS всего 7 в мире, и сайт ОИЯИ стабильно занимает 2-е место по числу обработанных событий, демонстрируя почти 100% уровень доступности и надежности.

Авторами проекта на его первой стадии выполнены работы по созданию интегрированной облачной среды со странами участницами ОИЯИ. Успешно введен в эксплуатацию суперкомпьютер «ГОВОРУН», введенный в строй в марте 2018 года.

Работы, выполненные на первой стадии проекта МИВК, изложены в научном отчете по проекту, к которому приложен список публикаций за 2017-2019 гг.

По работам в рамках проекта планируется в 2019-2021 годах защита как минимум 4-х диссертаций. Результаты работ докладывались на международных конференциях NEC 2017, CHER 2018, GRID 2018 и на многих международных рабочих совещаниях.

Оценка кадровых ресурсов

Коллектив исполнителей проекта МИВК состоит из 62 сотрудников высокой квалификации, которая доказана как бесперебойным функционированием всего комплекса, так и эффективным введением в оптимальные сроки нового оборудования на примере суперкомпьютера «ГОВОРУН».

На диаграмме рис. 1 приведено распределение по возрасту сотрудников ЛИТ, участвующих в проекте в качестве основных исполнителей.



Рис. 1. Распределение участников проекта по возрасту

Распределение исполнителей проекта по категориям приведено на рис.2.

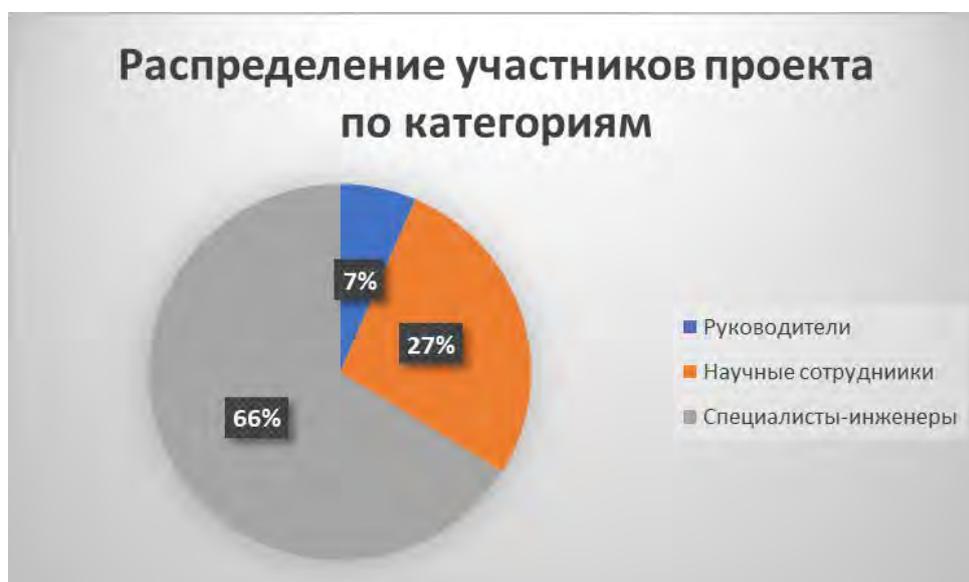


Рис.2. Распределение участников проекта по категориям

На диаграмме рис. 3 приведено распределение по долям времени, которые каждый участник проекта будет уделять работе в рамках Проекта по отношению к своей полной занятости (эквивалент полной занятости).

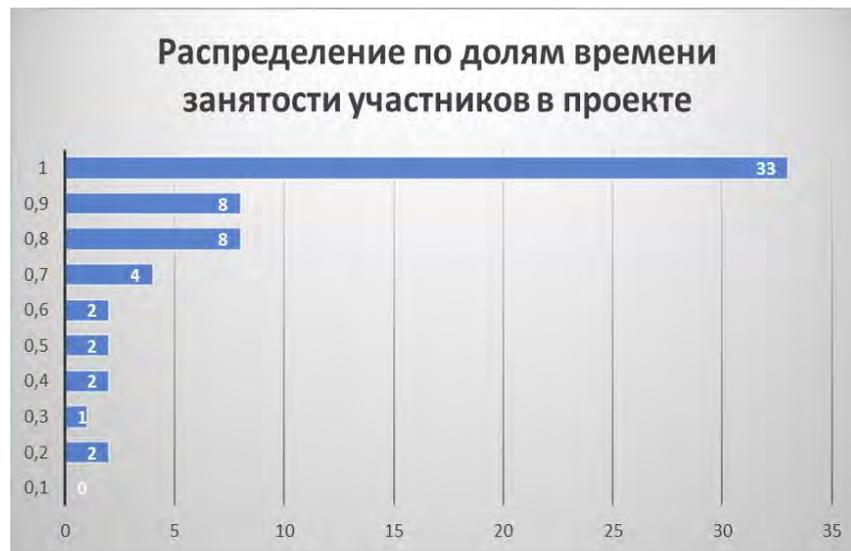


Рис.3. Распределение участников проекта по долям времени занятости в проекте от полной занятости

Среди участников проекта 4 доктора наук и 12 кандидатов физико-математических наук. Запланированы 4 защиты диссертаций молодых сотрудников в ближайший год. Средний возраст участников проекта 46 лет, а инженеров и программистов – 40 лет.

3.7. Оценка бюджета Проекта

Из бюджета ОИЯИ на работы по проекту МИВК в 2017-2018 гг было израсходовано 13700,3 тыс. долларов США, а бюджет 2019 года запланирован в объеме 8705,5 тыс. долларов США. Основные средства расходовались на выполнение задач и расширение вычислительной мощности МИВК, запланированных проектом.

Увеличение расходов 2017 года связано с созданием суперкомпьютера ГОВОРУН, который был запущен в эксплуатацию в 2018 году и создан как совместный проект Лаборатории теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова и Лаборатории информационных технологий, поддержанный дирекцией ОИЯИ. Проект нацелен на кардинальные ускорения комплексных теоретических и экспериментальных исследований в области ядерной физики и физики конденсированных сред, проводимых в ОИЯИ, в том числе для комплекса NICA. CPU-компонента суперкомпьютера создана на базе специализированной для HPC инженерной инфраструктуре на технологии контактного жидкостного охлаждения, реализуемой российской компанией ЗАО «РСК Технологии». Эта компания является лидером на российском рынке в области HPC-решений на жидкостном охлаждении, которые базируются на ряде собственных уникальных разработок, позволяющих создавать сверхкомпактные и энергоэффективные HPC-системы с высокой вычислительной плотностью. GPU-компонента суперкомпьютера реализована на базе вычислительных серверов последнего поколения с графическими ускорителями NVIDIA Volta. Общая производительность Суперкомпьютера Говорун на момент его создания составила 1 Пфлопс для вычислений с одинарной точностью. Затраты на его создание составили 2480 тыс. долларов США.

В 2018 году дополнительные средства из гранта дирекции ОИЯИ были выделены на расширение вычислительных ресурсов одной из компонент МИВК - центра уровня Tier1 для эксперимента CMS, в размере 650,1 тыс. долларов США. За счет бюджета ОИЯИ в 2018 году было закуплено оборудование общей стоимостью 1285 тыс. долларов США для выполнения перспективных работ по модернизации и развитию сетевой инфраструктуры ОИЯИ. За эти средства увеличена пропускная способность внешних каналов связи и опорной локальной вычислительной сети ОИЯИ. Создан дополнительный оптический канал связи Дубна - МГТС-9 (Москва) 2x100 Гбит/сек и приобретено оборудование для перевода всей опорной сети ОИЯИ на 100 Гбит/сек.

В 2019 году дополнительные бюджетные средства в размене 2500 тыс. долларов США предусматривают дооснащения суперкомпьютера «ГОВОРУН» сверхбыстрой системой хранения данных и увеличения вычислительной мощности. Предполагается дооснастить суперкомпьютер полноразмерной СХД общей емкостью 288 Тбайт и расширить вычислительную компоненту Skylake на 20 вычислительных узлов. Таким образом производительность суперкомпьютера Говорун будет увеличена на 200 Тфлопс для вычислений с одинарной точностью. Из бюджета 2019 года предусмотрена закупка ленточного робота для создания долговременного хранилища для эксперимента VM@N проекта НИКА и в рамках эксперимента CMS на LHC, состоящего из ленточного робота емкостью в 10ПБ и промежуточного дискового массива на сумму 1 600 тыс. долларов США. В расширенный бюджет 2019 года также предусмотрено дополнительное финансирование работ по инженерной инфраструктуре 1 046 тыс. долларов США.

Планируемые расходы по материалам и оборудованию по проекту МИВК приведены в таблице, в которой указаны предельные суммы на финансирование

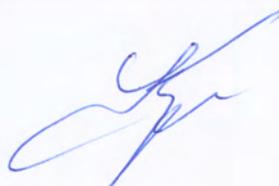
различных подразделов проекта. Однако в ходе работ допускается корректировка финансирования между подразделами.

Подраздел проекта МИВК	Наименование работ	2020	2021	2022	2023
		Финансирование тыс. дол. США			
Инженерная инфраструктура – гарантированное энергообеспечение, система климат контроля	Поэтапная модернизация системы климат контроля и (ИБП)	1000	1000	1000	1000
	Модернизация 2-го и 4-го этажей	200	300	100	100
Сетевая инфраструктура	Оборудование для центрального ядра сетевой инфраструктуры	150	150	150	175
	Модернизация оборудования внешних каналов связи	100	100	100	100
	Локальная сетевая инфраструктура	400	400	400	550
Развитие грид-компоненты МИВК – Tier1 центра эксперимента CMS и интегральной компоненты МИВК Tier2/ЦИВК и вычислительные ресурсы Off-line NICA кластера в рамках МИВК	Вычислительные ресурсы	537	830,3	1 000	1 200
Система хранения данных (озеро ОИЯИ)	Дисковые сервера	1400	2100	2200	2300
	Роботизированное ленточное хранилище	1600	650	650	650
Расширение платформы HybriLIT, включающей суперкомпьютер «Говорун»	Гетерогенная платформа	470	470	470	470
Облако ОИЯИ	Облачная инфраструктура	500	500	600	600
	Расходные материалы, оборудование и специализированное лицензионное ПО	200	300	300	300
	Замена критического и устаревшего оборудования	350	350	350	400

**Предлагаемый план-график и необходимые ресурсы для осуществления
проекта Многофункциональный информационно-вычислительный комплекс
ЛИТ ОИЯИ
(название Проекта)**

Наименования затрат, ресурсов, источников финансирования		Стоимость (тыс. долл.). Потребности в ресурсах	Предложение лаборатории по распределению финансирования и ресурсов			
			2020	2021	2022	2023
Затраты	Основные узлы оборудования, работы по его обновлению, наладке и т.п.	28582,3	6747,0	6990,3	7160,0	7685,0
	Материалы	640,0	160,0	160,0	160,0	160,0
	Компьютерная связь	110,0	20,0	30,0	30,0	30,0
	Командировочные расходы	535,2	133,8	133,8	133,8	133,8
Необходимые ресурсы	Нормо-час Ресурсы – конструкторского бюро лаборатории, – опытного производства ОИЯИ, – опытного производства лаборатории, – ускорителя, – реактора, – ЭВМ. Эксплуатационные расходы					
Источники финансирования	Бюджетные средства	29867,5	7060,8	7314,1	7483,8	8008,8
	Внебюджетные средства					
	Вклады коллаборантов. Средства по грантам. Вклады спонсоров. Средства по договорам. Другие источники финансирования и т.д.					

РУКОВОДИТЕЛЬ ПРОЕКТА

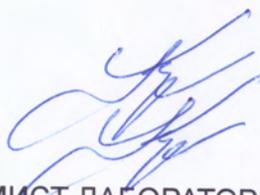


Смета затрат по проекту Многофункциональный информационно-
вычислительный комплекс ЛИТ ОИЯИ

(полное название Проекта)

NN пп	Наименование статей затрат	Полная стоимость	2020	2021	2022	2023
	Прямые расходы на Проект					
1.	Ускоритель, реактор	час.				
2.	ЭВМ	час.				
3.	Компьютерная связь	тыс. долл.	20,0	30,0	30,0	30,0
4.	Конструкторское бюро	нормо- час				
5.	Материалы	тыс. долл.	160,0	160,0	160,0	160,0
6.	Оборудование	тыс. долл.	6747,0	6990,3	7160,0	7685,0
7.	Командировочные расходы, в т.ч.	тыс. долл.	133,8	133,8	133,8	133,8
	а) в страны нерублевой зоны		98,3	98,3	98,3	98,3
	б) в города стран рублевой зоны		10,0	10,0	10,0	10,0
	в) по протоколам		25,5	25,5	25,5	25,5
	Итого по прямым расходам:	29867,5	7060,8	7314,1	7483,8	8008,8

РУКОВОДИТЕЛЬ ПРОЕКТА
ДИРЕКТОР ЛАБОРАТОРИИ
ВЕДУЩИЙ ИНЖЕНЕР-ЭКОНОМИСТ ЛАБОРАТОРИИ




Краткий ССВУ¹-анализ

Strengths (сильные стороны)

Исполнители справляются с выполнением текущих задач, с модернизацией и обновлением вычислительных компонент и систем хранения данных.

Многолетний опыт успешной работы в рамках проекта WLCG по обработке данных с экспериментов на LHC.

Компоненты МИВК функционируют на уровне лучших мировых стандартов в режиме 24x7.

Современный гиперконвергентный суперкомпьютер, построенный на жидкостном охлаждении и современных процессорах.

Сетевая инфраструктура обновлена.

Налаженный механизм мониторинга функционирования всех компонент МИВК.

Сотрудничество с пользователями МИВК.

Weaknesses (слабые стороны)

Слабый контроль за действиями пользователей.

Отсутствие централизованной службы поддержки пользователей.

Система закупок.

Низкий темп работ по модернизации элементов инженерной и сетевой инфраструктуры.

Непредсказуемость цен на оборудование ведущих производителей вычислительного и сопутствующего оборудования в регионе.

Opportunities (благоприятные возможности)

Понимание руководством ОИЯИ необходимости инвестирования и поддержки развитой ИТ-инфраструктуры.

Ресурс студентов Университета «Дубна» и других институтов как потенциальный источник кадров для обслуживания компонентов МИВК.

Threats (угрозы)

Быстрые темпы морального устаревания компьютерного и сетевого оборудования.

Вирусные и хакерские атаки снаружи и изнутри по причине невнимательности пользователей.

Изношенность и моральное устаревание инженерного оборудования, модернизация которого затягивается из-за излишней бюрократизации процедуры принятия решения проверяющими инстанциями.

1 ССВУ (англ. SWOT) – сильные, слабые стороны, возможности, угрозы