

УДК 004

Многофункциональный информационно-вычислительный комплекс ОИЯИ. Инженерная инфраструктура.

А. С. Воронцов, А. В. Евланов, А. Г. Долбилов, А. П. Гавриш

*Лаборатория информационных технологий,
Объединённый институт ядерных исследований,
ул. Жолио-Кюри 6, Дубна, Московская область, Россия, 141980*

Email: vorontsov@jinr.ru

В докладе представлен обзор Многофункционального информационно-вычислительного комплекса Объединенного института ядерных исследований (МИВК ОИЯИ). Подробно рассмотрены этапы модернизации модулей, в которых располагается сетевое, вычислительное оборудование и системы хранения данных, а также инженерные решения, которые способствуют функционированию оборудования МИВК и обеспечивают бесперебойную работу комплекса в режиме $24 \times 7 \times 365$.

Ключевые слова: инженерная инфраструктура, охлаждение, электропитание, мониторинг, МИВК, модуль, вычислительное оборудование, системы хранения данных.

1. Введение

19 августа 1966 года в составе Объединенного института ядерных исследований была образована Лаборатория вычислительной техники и автоматизации (ЛВТА). С момента создания ЛВТА прошло уже более 50 лет, многое изменилось в области информационных технологий, существенно изменились задачи лаборатории, изменилось даже ее название. За это время обновилась аппаратная база компьютеров, активно внедряются сети передачи данных и интернет, распределенные и параллельные вычисления, базы данных и информационные системы, пакеты прикладных программ и интеллектуальные приложения. Бурное развитие информационных технологий выдвигает на первый план новые задачи. Одна из них заключалась в освоении и модернизации комплексов программ, ставших достоянием научного сообщества, внедрение новейших математических методов, отвечающих потребностям физических исследований, освоение новых гибридных вычислительных систем, позволяющих на порядки увеличить скорость некоторых вычислений.

Перспективы развития лаборатории мы связываем с проектом развития многофункционального информационно-вычислительного комплекса (МИВК) ОИЯИ. Сегодня ОИЯИ располагает сложной информационно-вычислительной инфраструктурой, непрерывное функционирование которой необходимо для успешной работы Института. Поддержка этой инфраструктуры в рабочем состоянии – одна из важнейших задач Лаборатории информационных технологий имени М.Г. Мещерякова [1].

2. Система холодообеспечения МИВК

В результате развития компьютеринга был реализован переход на распределенную обработку и хранение экспериментальных данных на основе грид-технологий, а это необходимое условие участия физиков ОИЯИ и стран-участниц в экспериментах на ЛНС [2, 3].

Для реализации этих задач потребовалось существенно модернизировать устаревшую инженерную инфраструктуру, обеспечивающую функционирование вычислительного оборудования и систем хранения данных в ЛИТ ОИЯИ.

Одно из самых популярных решений в качестве системы охлаждения в ЦОД – это использование воздушной системы охлаждения с подачей холодного воздуха через перфорированные плитки фальшпола [4].

Чтобы повысить эффективность воздушной системы охлаждения с подачей холодного воздуха из-под фальшпола в машинном зале, нам потребовалось установить телекоммуникационные шкафы и разместить активное оборудование в шкафах таким образом, чтобы в дата-центре не происходило смешение холодного и горячего воздуха.

Расположив шкафы с вычислительным оборудованием рядами так, чтобы с лицевой части шкафов шла подача холодного воздуха, а нагретый воздух выходил сзади шкафов нами были организованы «горячие коридоры» и «холодные коридоры». Для этого ряды шкафов были установлены друг напротив друга лицевой стороной, а перед шкафами размещают перфорированные плитки, через которые осуществляется подача холодного воздуха. Сзади шкафов располагаются плитки фальшпола без перфорации. Над рядами шкафов с серверами была установлена специальная крыша из стеклопластика, а между рядами – раздвижные двери (для создания замкнутого пространства). Перед полученной конструкцией был смонтирован кондиционер, подающий холодный воздух под фальшпол, который, в свою очередь, попадает напрямую в организованную зону. Таким образом, подаваемый кондиционером холодный воздух остается внутри организованного пространства.

Такое решение позволило нам отводить от каждого шкафа с вычислительным оборудованием до 5 – 10 кВт тепла.

В результате была создана система климатического контроля МИВК (Рис. 1), представляющая собой комплекс взаимосвязанного оборудования для различных схем воздушного и жидкостного охлаждения. В настоящее время система климатического контроля МИВК имеет следующие компоненты: естественное охлаждение серверного оборудования машинного зала охлажденным воздухом, подачу холодного воздуха через фальшпол с принудительным отводом горячего воздуха вентиляционными панелями, охлаждение холодного коридора модуля Tier-1 межрядными кондиционерами, жидкостное охлаждение элементов суперкомпьютера «Говорун». По типу отвода тепла система климат-контроля МИВК относится к смешанному типу, который сочетает в себе системы с испарением хладагента и системы с промежуточным хладагентом.

3. Система электропитания МИВК

В марте 2015 года была запущена в эксплуатацию базовая компонента вычислительной инфраструктуры ОИИИ – центр уровня Tier-1 для эксперимента CMS. Он используется как часть глобальной системы обработки экспериментальных данных, поступающих из центра уровня Tier-0 (ЦЕРН), а также очередь, попадает напрямую в глобальную грид-инфраструктуру эксперимента CMS [5].

Для реализации проекта, по созданию в ОИИИ центра обработки и хранения данных уровня Tier-1 потребовалось существенно модернизировать систему электропитания.

Была проведена модернизация системы электроснабжения ЛИТ ОИИИ (Рис. 2) с заменой трансформаторов номиналом 1000 кВА на новые трансформаторы мощностью 2500 кВА, 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 $24 \times 7 \times 365$ по 1-му классу.

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

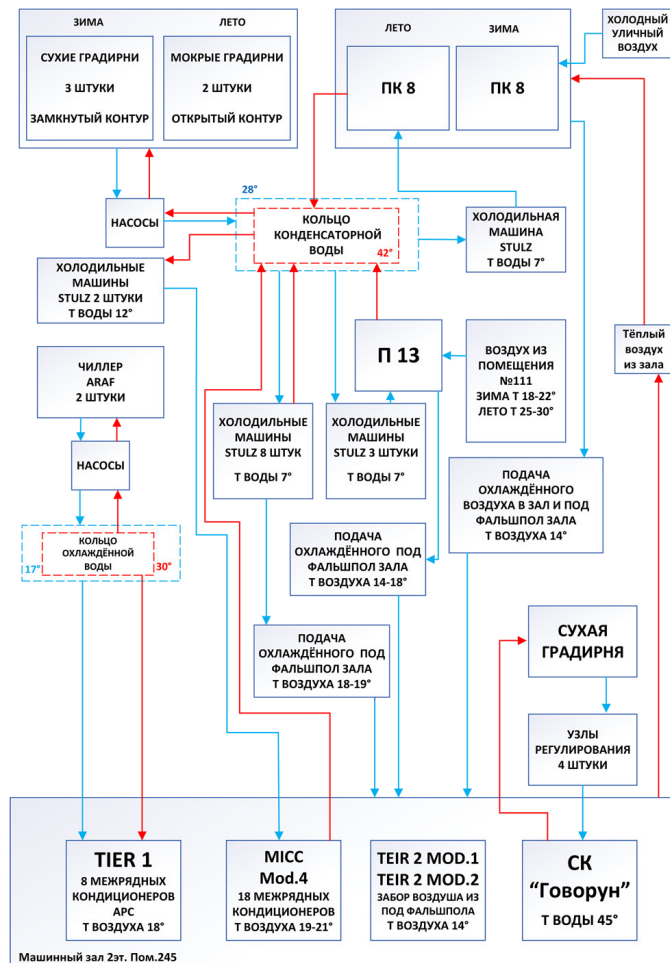


Рис. 1. Структурная схема холодоснабжения МИВК

В результате, на текущий момент бесперебойную работу оборудования, сосредоточенного в МИВК, обеспечивают 6 ИБП APC Galaxy 7000 (300 кВА каждый) и 2 ИБП APC Symmetra PX (160 кВА каждый).

Созданная за первые годы реализации проекта МИВК система гарантированно и бесперебойного электроснабжения обеспечивает: гарантированное электропитание подключенных потребителей; автоматический запуск дизель-генератора; автоматическое переключение нагрузки с основной внешней сети электропитания на

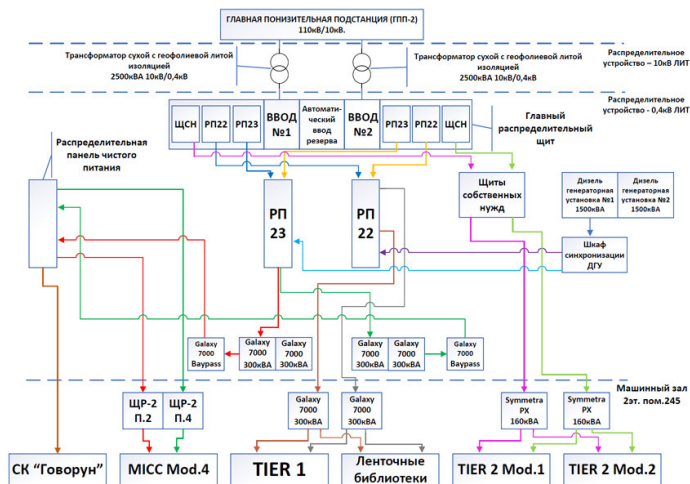


Рис. 2. Структурная схема электропитания МИВК

дизель-генератор и обратно; выдача сигнала тревоги на пост диспетчера в случае аварийного события с оборудованием ДГУ.

4. Суперкомпьютер «Говорун»

Суперкомпьютер «Говорун», являющийся совместным проектом Лаборатории теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова и Лаборатории информационных технологий, был введен в эксплуатацию в 2018 году. Цель данного проекта – кардинальное ускорение теоретических и экспериментальных исследований в области ядерной физики и физики конденсированных сред, проводимых в ОИЯИ, в том числе для комплекса NICA [6].

СК «Говорун» вошел в состав МИВК, при этом, для CPU компоненты суперкомпьютера используется технология жидкостного охлаждения, разработанная компанией РСК. Эта технология обеспечивает прецизионное отведение тепла от сервера, используя охлаждающую пластину, полностью покрывающую всю элементосодержащую поверхность вычислительного узла и в свою очередь охлаждаемую жидкостью. Данный подход позволяет добиться наилучшего теплосъема со всей площади компонента сервера, исключая локальные перегревы и воздушные карманы, что увеличивает срок службы электронных компонентов, а также повышает отказоустойчивость всего решения [7, 8].

Для реализации такой системы охлаждения была установлена сухая градирня. Задача сухой градирни состоит в обеспечении охлаждения теплоносителя, занятого в технологическом процессе. Это достигается за счет того, что жидкость, подаваемая в теплообменное устройство, снижает свою температуру под воздействием воздушного потока, забираемого вентиляционной установкой из окружающей среды.

Ввиду особенностей климата в качестве теплоносителя было принято решение использовать раствор незамерзающей жидкости.

Из градирни этиленгликоль попадает в коллектор, а затем в теплообменный агрегат, который поглощает тепловую энергию от воды, которая непосредственно циркулирует через вычислительные узлы суперкомпьютера.

В суперкомпьютер поступает вода, охлажденная до температуры 45 °С. Пройдя через весь контур в суперкомпьютере, нагретая до 50 °С вода возвращается в теплообменник, где охлаждается, передавая тепловую энергию в гидравлический контур сухой градирни.

Система охлаждения имеет плавную регулировку производительности, которая позволяет увеличивать или уменьшать мощность системы охлаждения в соответствии с реальной нагрузкой. Это позволяет значительно снизить потребление электроэнергии при частичной нагрузке.

В результате среднегодовой показатель PUE системы, отражающий уровень эффективности использования электроэнергии, составляет менее чем 1.06. То есть на охлаждение расходуется менее 6% всего потребляемого электричества, что является выдающимся результатом для НРС-индустрии.

Для питания распределительного щита используется входной автомат на 400 А. Вся стойка «РСК Торнадо» потребляет до 100 кВт под полной нагрузкой.

В распределительном щите на градирню используется электроника, которая измеряет температуру охлаждающей жидкости и регулирует обороты вращения вентиляторов.

Высокая доступность, отказоустойчивость и простота использования вычислительных систем, созданных на базе решений РСК для высокопроизводительных вычислений, также обеспечиваются благодаря передовой системе управления и мониторинга на базе ПО «РСК БазИС» (Рис. 3). Она позволяет осуществлять управление как отдельными узлами, так и всем решением в целом, включая инфраструктурные компоненты. Все элементы комплекса (вычислительные узлы, блоки питания, модули гидрорегулирования и др.) имеют встроенный модуль управления, что обеспечивает широкие возможности для детальной телеметрии и гибкого управления.

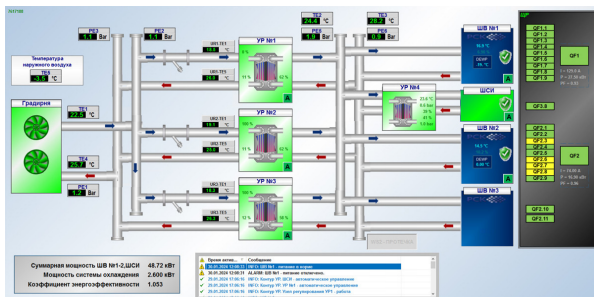


Рис. 3. Структурная схема электропитания МИВК

Система автоматического управления для инфраструктуры является модульной, что позволило индивидуально настроить ее для мониторинга и управления инженерной инфраструктурой суперкомпьютера «Говорун». Благодаря множеству встроенных блоков и элементов контроля, система АСДУ может быть использована как независимый мониторинг с информированием при помощи СМС, или как система безопасности с функцией отключения обслуживаемых элементов при критических

ситуациях. Все модули инфраструктуры отображаются в системе управления в реальном времени с указанием всех важных параметров. Централизованное управление осуществляется с помощью платформы РСК БазИС [9].

5. Мониторинг

Успешное функционирование вычислительного комплекса обеспечивается системой мониторинга, которая контролирует все компоненты МИВК [10].

Для обеспечения бесперебойной работы вычислительного комплекса, были созданы различные дашборды (Рис. 4), отражающие в реальном времени состояние всех основных компонент инженерной инфраструктуры. С помощью системы мониторинга, дежурные инженеры в круглосуточном режиме отслеживают состояние электропитания, охлаждения, работу сетевых каналов связи. В случае обнаружения какой-либо неисправности в системе работы инженерной инфраструктуры, дежурные инженеры незамедлительно докладывают о неисправности профильным инженерным службам, а также самостоятельно принимают меры по устранению неисправностей.

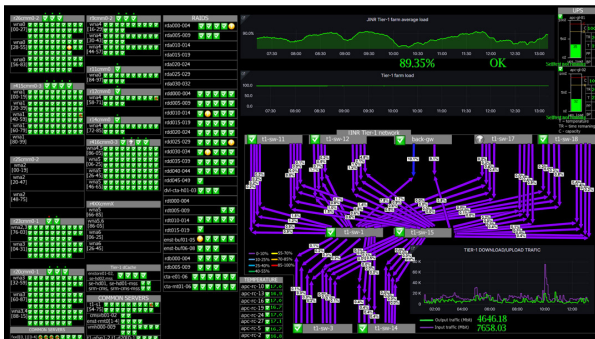


Рис. 4. Система мониторинга МИВК

6. Заключение

Проект развития МИВК призван обеспечить широкий спектр возможностей для пользователей: создание для основных базовых установок ОИЯИ (NICA, ИБР-2, DRIBS и др.) распределенных систем хранения, обработки и анализа информации (с использованием удаленных центров управления и анализа, виртуальных лабораторий, облачных вычислений, информационных порталов) для эффективного участия институтов стран-участниц и других центров в реализации этих проектов; полноценное и эффективное участие в обработке и анализе экспериментальных данных на крупнейших ускорителях мира (LHC, FAIR, RHIC); развитие новых подходов и алгоритмов решения задач на суперкомпьютерах, в том числе с гибридной архитектурой; развитие методики адаптации приложений для работы в распределенной среде; развитие многопрофильной инструментально-технологической платформы для предоставления доступа к распределенным вычислительным ресурсам, прикладным пакетам и композитным приложениям в рамках моделей IaaS, SaaS и AaaS;

развитие системы подготовки и переподготовки IT-специалистов на базе учебно-исследовательской облачной грид-инфраструктуры и гетерогенного кластера [11].

Литература

1. Baginyan A., Balandin A., Balashov N. et al. Current Status of the MICC: an Overview. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-2743>
2. Korenkov V., Dolbilov A., Mitsyn V. et al. The JINR distributed computing environment. doi:10.1051/epjconf/201921403009
3. Кореньков В.В. Тенденции и перспективы развития распределенных вычислений и аналитики больших данных для поддержки проектов класса мегасайенс. doi:10.31857/S0044002720050153
4. Мацкевич Д. Использование систем охлаждения в ЦОД (дата-центрах). URL: <http://dcnt.ru/?p=210> (Дата обращения: 20.02.2024).
5. Astakhov N.S., Baginyan A.S., Belov S.D. et al. JINR Tier-1 Centre for the CMS Experiment at LHC. doi:10.1134/S1547477116050046
6. Podgainy D.V., Belaykov D.V., Nechaevsky A.V. et al. Current Status of the MICC: an Overview. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-2743>
7. Druzhinin E.A., Shmelev A.B., Moskovsky A.A. et al. Server Level Liquid Cooling: Do Higher System Temperatures Improve Energy Efficiency? doi:10.14529/jsfi160104
8. Druzhinin E., Shmelev A., Moskovsky A. et al. High temperature coolant demonstrated for a computational cluster. doi:10.1109/HPCSim.2016.7568418
9. Платформа оркестрации РСК БазИС. URL: <https://rscgroup.ru/product/rsc-basis-platform> (Дата обращения: 20.02.2024).
10. Кашунин И.А., Мицын В.В., Трофимов В.В., Долбилов А.Г. Интеграция кластерной системы мониторинга на базе Icinga2 в МИВК ЛИТ ОИЯИ // Письма ЭЧАЯ. – 2020. – Т. 17, № 3. – С. 345-352.
11. Кореньков В.В., Стрельцова О.И., Подгайный Д.В. Образовательная программа по технологиям НРС на базе гетерогенного кластера HybriLIT (ЛИТ ОИЯИ). doi:10.25559/SITITO.2017.4.633

UDC 004

JINR Multifunctional Information and Computing Complex. Engineering infrastructure.

A. S. Vorontsov, A. V. Evlanov, A. G. Dolbilov, A. P. Gavrish

*Laboratory of Information Technologies
Joint Institute for Nuclear Research
Joliot-Curie 6, Dubna, Moscow region, 141980, Russia*

Email: vorontsov@jinr.ru

The report provides an overview of the Multifunctional Information and Computing Complex of the Joint Institute for Nuclear Research (MICC JINR). The stages of modernization of the modules that house the network, computing equipment and data storage systems, as well as engineering solutions that contribute to the operation of MICC equipment and ensure uninterrupted operation of the complex in 24 × 7 × 365 mode, are discussed in detail.

Key words and phrases: engineering infrastructure, cooling, power supply, monitoring, MICC, module, computing equipment, data storage systems.