

# Грид технологии в экспериментах физики высоких энергий

Багинян А.С., Долбилов А.Г., Громова Н.И., Кореньков В.В., Мицын В.В., Пальчик В.В., Стриж Т.А., Трофимов В.В, Войтишин Н.Н.

Лаборатория Информационных Технологий, ЛИТ  
Объединенный Институт Ядерных Исследований, ОИЯИ  
141980 Дубна, Московская Область, Российская Федерация  
e-mail: nvoytish@jinr.ru

**Аннотация**—В настоящее время грид технологии широко используются при реализации больших проектов, в том числе и в физике высоких энергий. Большой Адронный Коллайдер с его физическими установками является одним из направлений, для которого была адаптирована концепция распределенной инфраструктуры для обработки и хранения данных. В этой работе дается краткий обзор грид инфраструктуры ОИЯИ. Некоторые параметры работы грид сервисов приведены наравне с результатами полученными группами ученых института с использованием вышеупомянутых сервисов.

**Ключевые слова** – грид технологии, CMS эксперимент, CMS Tier1 сайт; CMS Tier2 сайт, БАК, WLCG, VM@N эксперимент, НИКА.

## I. ВВЕДЕНИЕ

Грид технологии оказались одним из лучших вариантов для проектов, требующих больших ресурсов для хранения и обработки больших объемов данных. Большой Адронный Коллайдер (БАК) с его шести миллиардами миллионов протон-протон столкновений, зарегистрированных в Run1 и 200 PB набранных данных, действительно соответствует концепции крупномасштабного проекта. Все данные были аккумулированы и проанализированы в рамках распределенной вычислительной инфраструктуры в Worldwide LHC Computing Grid (WLCG). История создания распределенной вычислительной инфраструктуры для БАКа восходит к первоначальному предложению в 1999 году Яном Фостером и Карлом Кессельманом. В 2002 году БАК принял грид как технологию распределяющую нагрузку на хранение и обработку данных на свои ресурсные центры, иерархически организованные в 4 уровня, называемых тирами. В настоящий момент WLCG состоит из более чем 170 ресурсных центров, возглавляемых Центром Tier-0 в ЦЕРНе, тринадцатью центрами Tier-1 и более чем 160 центрами уровня 2 по всему миру. Такая обширная и мощная конфигурация позволяет хранить, обрабатывать и анализировать ожидаемые 6 GB/sec сырых данных, полученных с четырёх основных экспериментов: CMS, ATLAS, ALICE и LHCb.

## II. ГРИД ИНФРАСТРУКТУРА ОИЯИ

Грид инфраструктура ОИЯИ представлена центром уровня Tier-1 и центром уровня Tier-2. В этой статье более подробно будет описан центр уровня Tier-1.

### A. CMS Tier-1 Центр ОИЯИ

Центр Tier-1 ОИЯИ используется исключительно для нужд эксперимента CMS. Этот эксперимент также поддерживается другими центрами уровня Tier-1 в Германии, Испании, США, Франции, Италии и Великобритании. Создание центра Tier-1 в ОИЯИ началось в 2011 году и прошло в несколько этапов. Сначала был построен прототип с целью тестирования различных сервисов и подбора оптимальных решений для создания полномасштабного центра Tier-1. Когда был установлен четкий план, началось фактическое строительство центра Tier-1 CMS в ОИЯИ. Три ключевых компонента, фигурирующих в этом плане, были:

- Инженерная инфраструктура (система бесперебойных источников питания, климат контроль и т.д.);
- Надежная высокоскоростная сетевая инфраструктура с зарезервированным каналом до ЦЕРНа (LHCOPN);
- Вычислительная система и система хранения на основе дисковых массивов и ленточных библиотек большой вместимости.

Самая большая проблема заключалась в предоставлении зарезервированного канала с ЦЕРНом. Для этой цели была спроектирована и реализована схема подключения, которая показана на Рис. 1. Таким образом, центр Tier-1 ОИЯИ был соединен каналом в 10Gbits/sec с LHCOPN в Будапеште, а также было зарезервировано 10Gbits/sec-соединение, которое проходит через Амстердам и далее в ЦЕРН в случае отказа основного канала. Такая схема двойного соединения показала высокую надежность, и используются большинством центров уровня Tier-1.

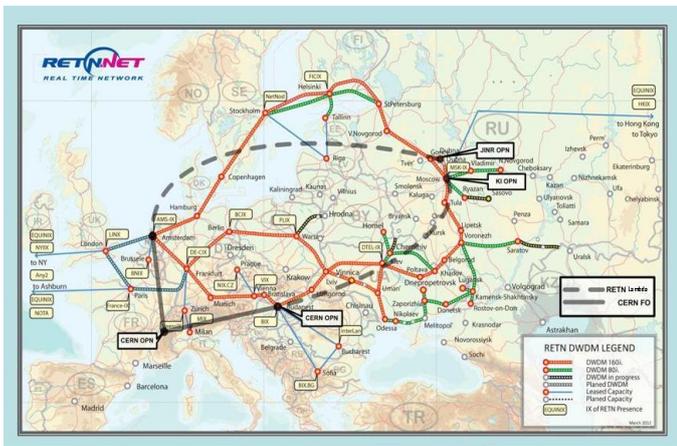


Рис. 1 Схема подключения центра Tier-1 ОИЯИ.

После того, как все запланированные работы были завершены, и всё необходимое оборудование было установлено, Tier-1 центр ОИЯИ был торжественно открыт 26-го марта 2015-го года.

Основываясь на требованиях, указанных в Вычислительной Модели Эксперимента CMS [1], центр Tier-1 ОИЯИ должен обеспечивать принятие согласованной доли необработанных и смоделированных данных Монте-Карло и обеспечивать стабильный и быстрый доступ к сохраненным данным для других сайтов CMS. В настоящее время вычислительная ферма Tier-1 состоит из 4160 процессоров. Вычислительные ресурсы используются в основном для переработки, моделирования, анализа и некоторых тестов, которые отражают статус ресурсного центра. График, отображающий типы задач запускаемых на Tier-1 центре ОИЯИ, представлен на Рис. 2. В среднем 13000 задач выполняются за день. Более 11% от общего числа Tier-1 задач CMS запускается на нашем сайте.

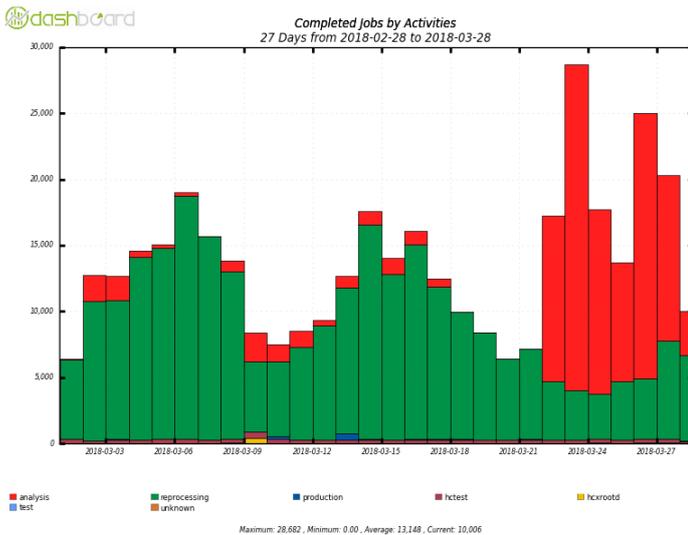


Рис. 2 Типы завершенных задач на Tier-1 ОИЯИ за месяц.

Наш сайт является единственным сайтом, который имеет рабочие узлы, состоящие из 12 ядер. Именно поэтому в контексте действий CMS, направленных на

постепенный переход к многоядерным задачам, было принято решение запускать 12 ядерные задачи на нашем сайте (максимум 8 ядер для остальных сайтов уровня Tier-1 CMS). Это иногда приводит к неэффективному использованию вычислительных ресурсов, но совершенствование пилотов запускающих задачи продолжается и вскоре должно быть завершено.

Ленточный робот IBM управляет ленточной библиотекой объемом в 9PB. Он используется для долговременного хранения данных, полученных с эксперимента CMS. Дисковый массив объемом в 7.2PB, предназначен для более короткого хранения данных, которые используются для реконструкции и анализа.

Для удовлетворения растущих потребностей эксперимента CMS, запланировано ежегодное увеличение мощностей.

### В. Tier-2 центр ОИЯИ

Tier-2 центр ОИЯИ в соответствии с вычислительной моделью БАКа [2] предназначен главным образом для выполнения задач по анализу и симуляции запускаемые пользователями по всему миру. В отличие от Tier-1 центра ОИЯИ Tier-2 центр поддерживает все четыре основных эксперимента БАКа. Его 3640 CPU обрабатывают в среднем 2000 задач одновременно. Основная часть задач запускается пользователями CMS. Используя сервис PhEDEx, любой пользователь может запросить перенос определенного набора данных с любого сайта на наш. Тут он может запускать задачи анализа через утилиту CRAB с использованием стандартного или настраиваемого программного обеспечения CMS. Эта утилита дает возможность запуска большого количества задач с разными наборами данных, что упрощает и ускоряет процесс научных исследований.

### III. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГРИДА НАУЧНЫМИ КОЛЛЕКТИВАМИ ИНСТИТУТА

В Институте активно работают научные коллективы, занимающиеся исследованиями в трех крупнейших экспериментах БАК: ATLAS, ALICE и CMS. Одним из наиболее активных и многочисленных является коллектив CMS, объединенный в отдельное сотрудничество России и стран-участниц ОИЯИ (RDMS). Основной вклад коллектив RDMS внес в создание и обработку экспериментальных данных с адронного калориметра (HCAL) и катодно-стриповых камер (CSC) экспериментальной установки CMS [3].

Одной из недавних разработок является новый алгоритм построения сегментов в CSC. Этот алгоритм предназначен для повышения точности и эффективности реконструкции траекторий заряженных частиц в мюонной системе CMS при высоких нагрузках детекторов. Тестирование нового алгоритма проводилось на различных наборах смоделированных и экспериментальных данных, с мюонами во всем диапазоне импульсов от нескольких GeV до самых высоких в несколько TeV. Полученные результаты сравнительного анализа показали преимущество нового алгоритма. Благодаря этому начиная с 2017,

разработанный алгоритм стал использоваться по умолчанию при реконструкции траекторий заряженных частиц в CSC.

Новый алгоритм показал значительное улучшение эффективности восстановления высокоэнергетических частиц (Рис.3), которые ожидаются в больших количествах во время последующих наборах данных на БАКе.

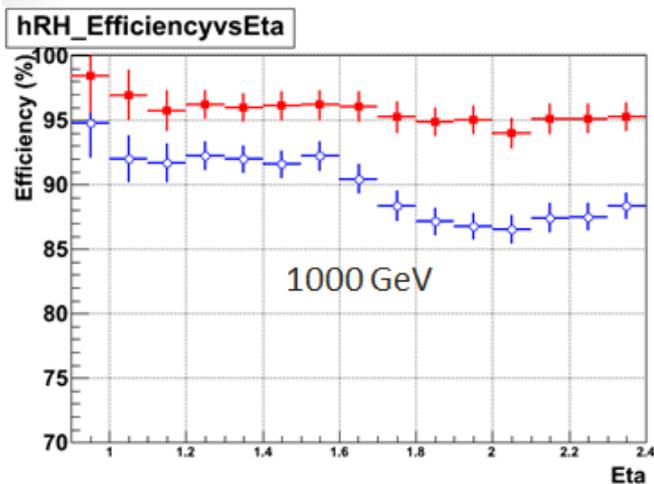


Рис. 3 Эффективность реконструкции трек-сегментов в CSC для высокоэнергетических мюонов с импульсом в 1000 GeV для моделированных данных. Эффективность реконструкции сегментов CSC, полученная с использованием стандартного алгоритма, представлена, синим цветом, а красным – результаты нового алгоритма.

К системе CSC предъявляются высокие требования по точности реконструкции азимутальной координаты мюона, особенно в TeB-ной области импульсов. Как видно из Рис. 4 новый алгоритм позволил существенно (в 4 раза) уменьшить угловой разброс CSC трек-сегмента для TeB-ых мюонов.

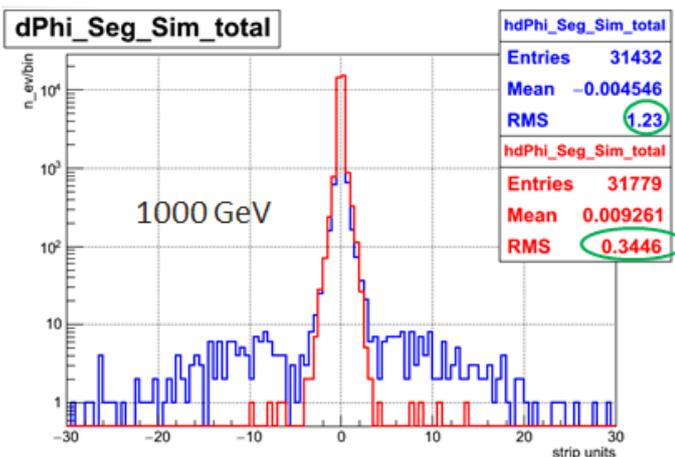


Рис. 4 Разница между моделированной и реконструированной азимутальными координатами трек-сегментов в CSC для высокоэнергетических мюонов с импульсом в 1000 GeV Синим – стандартный алгоритм; красным – предложенный алгоритм.

Представляемые результаты были получены с использованием Tier-1 и Tier-2 сайтов ОИЯИ. Для этого

были запущены десятки тысяч задач, переданы и обработаны сотни терабайт данных. Тот факт, что администраторы сайтов и фактические пользователи работают в одном и том же институте, упростили процесс сбора результатов и сделали использование грид ресурсов более эффективным с точки зрения временных затрат.

#### IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Концепция грида идеально вписывается в проект БАКа, что позволяет обрабатывать огромные объемы данных и задач.

Tier-1 сайт ОИЯИ наряду с Tier-2 сайтом предоставляет физикам из ОИЯИ, государств-членов и членам коллаборации RDMS возможность полноценно участвовать в обработке и анализе экспериментальных данных CMS, в частности, на Рис. 5 приведена статистика использования ресурсов Tier-2 сайта ОИЯИ за прошедший год. 32% процессорного времени было использовано российскими физиками.

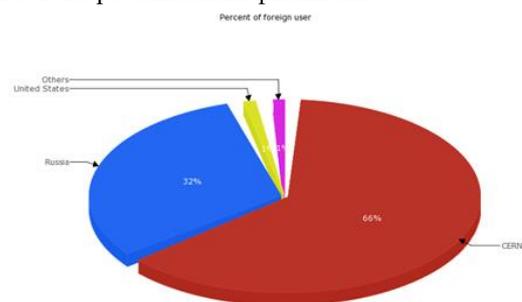


Рис. 5 Использование ЦПУ Tier-2 центра ОИЯИ за прошедший год.

Огромный опыт был накоплен при создании и обслуживании крупных центров обработки и хранения данных в ОИЯИ. Это будет очень полезным при разработке крупномасштабных проектов в ОИЯИ и других членах коллаборации RDMS. Лучшим кандидатом такого проекта является NICA [4]. На данный момент уже были произведены моделирование различных конфигураций сетевой инфраструктуры для этого проекта [5]. Исходя из этих результатов, руководителям проекта и сформированной рабочей группе предстоит разработать будущую вычислительную модель проекта NICA.

#### REFERENCES

- [1] The CMS Computing Model, C. Grandi, D. Stickland, L. Taylor, CERN LHCC 2004-035/G-083;
- [2] LHC Computing Grid Technical Design Report. CERN-LHCC-2005-024, 2005; Worldwide LHC Computing Grid (WLCG), <http://lcg.web.cern.ch/LCG/public/default.html>;
- [3] CMS Collaboration. Technical Proposal, CERN-LHCC-94-38, 1994;
- [4] Status of the NICA project at JINR - NICA Collaboration (Kovalenko, Alexander Dmitrievich *et al.*) PoS BaldinISHEPPXXII (2015) 002;
- [5] Korenkov V.V., Nechaevskiy A.V., Ososkov G.A., Pryahina D.I., Trofimov V.V., Uzhinskiy A.V. Synthesis of the simulation and monitoring processes for the development of big data storage and processing facilities in physical experiments, “Computer Research and Modeling” Number 3, 2015 Vol. 7 pp. 691-698.