

P11-2010-11

О. О. Бунецкий\*, Е. С. Горбенко\*, С. С. Зуб\*,  
В. В. Кореньков, Л. Г. Левчук\*, С. Т. Лукьяненко\*,  
В. В. Мицын, Д. А. Олейник, В. Ф. Попов\*,  
А. С. Приставка\*, Д. В. Сорока\*, П. В. Сорокин\*,  
Е. А. Тихоненко, В. В. Трофимов, И. А. Филозова

**ПОДГОТОВКА ГРИД-ИНФРАСТРУКТУР ЛИТ ОИЯИ  
И ННЦ ХФТИ К АНАЛИЗУ ДАННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТА  
CMS (ЦЕРН)**

---

\*ННЦ «Харьковский физико-технический институт», Харьков, Украина

Бунецкий О. О. и др.

P11-2010-11

Подготовка грид-инфраструктур ЛИТ ОИЯИ и ННЦ ХФТИ  
к анализу данных эксперимента CMS (ЦЕРН)

В эксперименте CMS, как и в других крупных экспериментах на большом адронном коллайдере (БАК), требуется с высокой скоростью обрабатывать огромный поток информации. Это накладывает жесткие условия на вычислительные комплексы (ВК), создаваемые для обработки данных. Для обработки и анализа данных, аккумулируемых в экспериментах LHC, создана разветвленная грид-инфраструктура, называемая LHC-грид (WLCG), элементами которой являются ВК ЛИТ ОИЯИ и ННЦ ХФТИ. На их базе созданы региональные вычислительные системы, которые к моменту запуска БАК в 2009 г. успешно сертифицированы в грид-инфраструктуре CMS как центры 2-го яруса WLCG и демонстрируют высокий уровень стабильности и качества работы. Вычислительные ресурсы этих центров выделяются прежде всего для анализа уже обработанных (или частично обработанных) данных CMS. Это предполагает обеспечение должной конфигурации элементов WLCG (в частности хранилищ информации) на узлах комплексов и надежности функционирования как грид-служб, так и специализированного программного обеспечения для реконструкции и анализа событий, зарегистрированных детектором CMS. Обсуждаются степень готовности ВК ЛИТ ОИЯИ и ННЦ ХФТИ к запуску БАК и получению первых физических данных, а также результаты крупномасштабных проверок грид-инфраструктуры эксперимента CMS.

Работа выполнена в Лаборатории информационных технологий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2010

Bunetsky O. O. et al.

P11-2010-11

Preparation of NSC KIPT and JINR Grid-Infrastructures for Data Analysis  
at the CMS Experiment (CERN)

At the running phase of the LHC experiments the requirements on computing centers for the LHC experiments, including CMS, are very strict because it would be necessary to process a huge amount of data at very high speed. For these purposes, a special distributed global grid-infrastructure named WLCG has been constructed. JINR LIT and «Kharkov Institute of Physics and Technology» (NSC KIPT) computing centers, intergated into the WLCG infrastructure and certified at the CMS experiment as CMS Tier2 centers, demonstrate a high level of reliability at their operation. These centers' computing resources are mostly dedicated for analysis of CMS data. A proper WLCG elements configuration at JINR LIT and NSC KIPT grid-sites (especially Storage Elements) should be provided and actual versions of CMS specialized software should be supported to make possible the reconstruction and analysis of data registered by the CMS detector. Readiness of JINR LIT and NSC KIPT computing centers to the LHC start-up is discussed and the results of scale testing of JINR LIT and NSC KIPT grid-sites are presented.

The investigation has been performed at the Laboratory of Information Technologies, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2010

## ВВЕДЕНИЕ

Одной из наиболее серьезных проблем при подготовке экспериментов на большом адронном коллайдере (БАК) в ЦЕРН явилось построение эффективной схемы съема экспериментальной информации и ее распределения для последующей удаленной обработки. Поток данных, аккумулируемых в четырех крупных экспериментах БАК — ATLAS, CMS, ALICE и LHCb, по своей величине многократно превосходит скорость накопления получаемой информации с существовавших ранее экспериментальных установок. Проектная светимость БАК  $10^{34} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$  соответствует  $\sim 10^9$  протон-протонных соударений в секунду при рекордной (для лабораторных условий) энергии 14 ТэВ в системе центра масс двух протонов. Регистрация образуемых в этих взаимодействиях частиц осуществляется четырьмя детекторами, расположенными в точках пересечения пучков коллайдера. Один из этих детекторов, Compact Muon Solenoid (CMS), дал название соответствующему эксперименту [1], являющемуся многоцелевым по своим научным задачам. Программа исследований эксперимента CMS [2] призвана, в частности, пролить свет на механизм возникновения масс частиц (поиск бозона Хиггса Стандартной модели элементарных частиц для всего предполагаемого диапазона его масс), природу существующей во Вселенной «темной материи» (поиск частиц, предсказываемых суперсимметричными расширениями Стандартной модели), причину дисбаланса количеств вещества и антивещества во Вселенной (изучение редких распадов  $B$ -мезонов с нарушением  $CP$ -симметрии), возможность существования экзотических состояний адронной материи (изучение соударений тяжелых ионов высоких энергий). Таким образом, анализ полученной в этом эксперименте информации позволит сделать выдающиеся открытия, которые могут определить дальнейшее развитие физики микромира на десятилетия вперед.

Сложная многоуровневая система триггера в эксперименте CMS отбирает для удаленной обработки и анализа  $10^{-7}$  от общего потока событий. Другими словами, скорость передачи событий в региональные центры для записи в высокопроизводительных хранилищах данных составит  $\sim 100$  Гц. При предполагаемом среднем размере одного события CMS  $\sim 1$  Мбайт это соответствует скорости передачи информации  $\sim 100$  Мбайт/с (свыше  $\sim 1$  Пбайт/год). Таким образом, в эксперименте CMS (как и в остальных экспериментах БАК)

требуется с высокой скоростью обрабатывать беспрецедентный для физики высоких энергий поток информации. Решение этой задачи оказывается возможным лишь при помощи распараллеливания общего потока поступающей экспериментальной информации и направления ее для хранения и обработки в несколько специализированных региональных центров с обеспечением эффективного и надежного доступа к ней при выполнении распределенных вычислений. С этой целью создана глобальная грид-инфраструктура, называемая Worldwide LHC Grid (WLCG) [3].

По предварительным оценкам для выделения событий, несущих информацию о «новой физике», необходимо обработать и проанализировать  $\sim 10^9$  событий CMS ( $10^{15}$  байт информации). Это накладывает чрезвычайно жесткие условия на параметры вычислительных систем (емкость дисковых хранилищ данных, ширина каналов внешней связи, проч.), входящих в WLCG и выделяющих ресурсы для обработки данных эксперимента CMS.

В последние годы в ЛИТ ОИЯИ и ННЦ ХФТИ созданы современные специализированные мультипроцессорные комплексы для участия в распределенной обработке данных эксперимента CMS. К настоящему времени эти комплексы интегрированы в WLCG (с именами JINR-LCG2 и Kharkov-KIPT-LCG2 соответственно), зарегистрированы в базе данных эксперимента CMS под именами T2\_RU\_JINR и T2\_UA\_KIPT и сертифицированы как T2-центры (региональные центры 2-го яруса) WLCG, готовые к приему и анализу данных этого эксперимента.

В данной статье мы даем информацию о степени готовности вычислительных комплексов (ВК) ЛИТ ОИЯИ и ННЦ ХФТИ к запуску LHC и получению первых физических данных в эксперименте CMS, а также об их участии в крупномасштабных тестах CMS по проверке грид-инфраструктуры данного эксперимента.

В следующем разделе сформулированы основные положения компьютерной модели эксперимента CMS. В разд. 2 и 3 дано краткое описание ВК ЛИТ ОИЯИ и ННЦ ХФТИ с обсуждением параметров этих систем и определением их места в грид-инфраструктуре CMS. Заключение содержит основные выводы.

## 1. КОМПЬЮТИНГОВАЯ МОДЕЛЬ ЭКСПЕРИМЕНТА CMS

Компьютерная модель эксперимента CMS [4] предусматривает активное использование инфраструктуры WLCG, который, в свою очередь, по принципам своего построения следует иерархической схеме создания сети региональных вычислительных центров, предложенной в рамках проекта MONARC [5]. В настоящее время CMS имеет 8 центров 1-го яруса (T1-центров) WLCG, которые принимают от единственного центра «нулевого»

яруса, находящегося в ЦЕРН, реальные данные эксперимента CMS, осуществляют массовое моделирование физических событий методом Монте-Карло, обеспечивают реконструкцию событий и хранение всех типов данных: «сырых» данных (RAW), восстановленных событий (RECO) и подготовленных для анализа объектов (AOD), включая так называемые «скимминговые» (т.е. с преселекцией определенного типа) наборы данных.

Некоторые из наборов (в частности данные в формате AOD) передаются в структуры 2-го яруса (T2-сайты) WLCG, несущие всю нагрузку по анализу реальных данных CMS и компьютерной генерации регистрируемых в эксперименте событий методом Монте-Карло. Согласно модели [4], «номинальный» T2-центр CMS должен обладать рабочими узлами (WN) с суммарной производительностью процессоров  $\sim 4$  kHEPspec06 ( $\sim 1000$  kSI2k) и хранилищем информации (SE), представляющим собой систему массовой дисковой памяти с грид-интерфейсом, емкостью  $\sim 200$  Тбайт. (Здесь и ниже для элементов грид-инфраструктуры мы используем терминологию, принятую в WLCG, — Worker Node (WN), Storage Element (SE), Computing Element (CE), User Interface (UI).) Кроме того, T2-центр должен иметь достаточно широкий ( $\sim 1$  Гбит/с) канал внешней (WAN) связи. В настоящее время зарегистрировано  $\sim 50$  T2-сайтов эксперимента CMS.

К концу 2009 г. инфраструктура CMS насчитывает также около 50 центров 3-го яруса. Модель [4] не содержит жестких требований к ресурсам T3-сайтов, поскольку эти структуры не участвуют в распределении данных и практически не выполняют серверных функций.

Важным этапом подготовки компьютерной инфраструктуры CMS к распределенной обработке экспериментальной информации является сертификация («комиссия») региональных центров (см. [7]). Качество работы, например T2-центра, оценивается по нескольким параметрам. Прежде всего это результат так называемого «мониторинга доступности» (SAM-тестов) для данной системы, который, наряду со стандартным тестированием сайта как элемента WLCG, включает также несколько критичных проверок работоспособности установленных на нем служб, обеспечивающих выполнение задач эксперимента CMS (возможность размещения выборок данных на SE и их анализа внешними пользователями системы). Для того чтобы сайт мог считаться готовым к участию в обработке данных (находиться в состоянии «ready»), завершение на нем всех SAM-тестов должно быть успешным в данный момент, а в течение предыдущих суток — не менее 80 % времени.

Еще одной составляющей метрики готовности регионального центра является доля успешно завершенных задач типа JobRobot (JR), являющихся задачами имитации анализа выборок данных, предварительно записанных на SE этого WLCG-сайта. На каждый T2-центр направляется по 100 таких задач одновременно несколько раз за сутки. При этом должно быть обеспечено успешное завершение не менее 80 % их общего количества.

Наконец, T2-центр должен иметь определенное количество сертифицированных каналов его связи с T1-сайтами. Должны быть сертифицированы каналы передачи данных как минимум на два T1-центра (для этого необходимо продемонстрировать устойчивую передачу информации по каждому из них со скоростью не менее 5 Мбайт/с в течение суток) и от четырех T1-центров (при этом демонстрируемая скорость трафика должна быть не ниже 20 Мбайт/с в течение суток). Состояние T1- и T2-центров и качество их работы являются предметом постоянного мониторинга (см. [7]). Если T2-сайт стабильно (не менее 80 % времени на протяжении нескольких недель) удовлетворяет всем условиям готовности (т.е. находится в состоянии «ready»), то он переводится в группу центров, рекомендованных для участия в компьютерной генерации событий и распределенной обработке реальных данных CMS на уровне 2-го яруса WLCG. Другими словами, при этом его можно считать полностью сертифицированным T2-центром эксперимента CMS.

Ниже дается информация о параметрах ВК ЛИТ ОИЯИ и ННЦ ХФТИ накануне запуска БАК осенью 2009 г., месте этих систем в грид-инфраструктуре CMS, некоторых деталях их сертификации как T2-центров и об участии этих комплексов в широкомасштабных проверках готовности вычислительной базы эксперимента CMS к приему данных с БАК.

## **2. ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ЛИТ ОИЯИ**

Комплекс ЛИТ ОИЯИ имеет 960 счетных слотов общей производительностью 2400 KSI2K. Для организации комплекса в локальной сети используется в основном технология 1Gb Ethernet, а также InfiniBand. Доступное для пользователей дисковое пространство составляет около 500 Тбайт.

Грид-сайт ОИЯИ интегрирован в глобальную инфраструктуру WLCG и полностью отвечает требованиям коллаборации CMS для действующей стадии данного эксперимента. При этом потребности в ресурсах по процессорной мощности и ресурсам хранения информации удовлетворены в полном объеме (270 счетных слотов и 200 Тбайт соответственно). Грид-сайт ОИЯИ активно используется коллаборацией CMS. С января по декабрь 2008 г. на сайте ОИЯИ было запущено 350133 задачи виртуальной организации CMS, а за аналогичный период 2009 г. — 449768 задач, причем сотрудники ОИЯИ достаточно активно работают в среде WLCG: так, например, в течение октября 2009 г. ими было запущено на всех грид-сайтах CMS 17841 задача (из них 2125 задач на грид-сайте ОИЯИ при общем количестве 34334 запущенных задач CMS на сайте ОИЯИ).

Производится постоянная модернизация грид-сайта ОИЯИ (расширение и обновление аппаратной базы, а также необходимые переходы на новые

версии промежуточного программного обеспечения и операционных систем). Так, например, осенью 2009 г. осуществлен переход грид-сайта ОИЯИ на новую версию промежуточного программного обеспечения (gLite 3.2\_0) и переход на версию 5.4 операционной системы Scientific Linux.

В ОИЯИ обеспечена и поддерживается функциональность грид-сервиса VOBOX для CMS (с установкой и периодическим обновлением версий сервера Rhex, необходимого для переноса данных между грид-сайтами CMS посредством грид-сервиса FTS), а также сконфигурирован и используется прокси-сервер SQUID, необходимый при работе со специализированными базами данных CMS (conditions DB).

В течение 2008–2009 гг. осуществлена сертификация сетевых связей ОИЯИ с CMS-сайтами 1-го уровня с необходимой скоростью передачи данных: 20 Мбайт/с — из CMS-центров уровня Tier1 в ОИЯИ (5 сертифицированных связей — из CMS-центров 1-го уровня в ЦЕРНе, Германии, Испании, Франции и США) и 5 Мбайт/с — из ОИЯИ в CMS-центры уровня Tier1 (3 сертифицированных связи с центрами в ЦЕРНе, Испании и Тайвани). При этом объем передаваемых в течение суток тестовых данных достигает более 1 Тбайта. Также в октябре 2009 г. осуществлена сертификация сетевых связей грид-сайта ОИЯИ с ассоциированными (в рамках участия ОИЯИ в работе соответствующих физических групп) CMS-центрами 2-го уровня (7 сертифицированных связей с центрами в Испании, Италии, Великобритании, двумя центрами в США и двумя центрами во Франции). Требования по сертификации данных связей в обоих направлениях — 5 Мбайт/с.

Регулярно (практически ежедневно) производится массовый запуск типовых задач CMS с помощью системы CMS Job Robot — до 1000 заданий в течение одних суток, все из которых завершаются успешно (см. <http://cern.ch/jobrobot>). ОИЯИ участвует в массовом моделировании методом Монте-Карло физических событий по физическим каналам, представляющим интерес для физиков ОИЯИ, в рамках сеансов плановой генерации физических событий в коллаборации CMS. Также производится репликация данных CMS на систему массовой памяти сайта ОИЯИ в соответствии с потребностями физиков ОИЯИ, участвующих в эксперименте CMS (объемы наборов данных до нескольких терабайт). В течение 2-го полугодия 2009 г. суммарная скорость передачи данных в ОИЯИ (как тестовых, так и реплицируемых) достигала 38 Мбайт/с.

Как тестирование сетевых связей, так и массовый запуск типовых задач CMS позволили выявить и устранить узкие места в конфигурации грид-сайта ОИЯИ, что привело к необходимости реорганизации локальной сетевой конфигурации и реорганизации грид-сервиса хранения данных Storage Element на основе dCache. В результате создания выделенной подсети для дисковых пулов, вычислительной фермы и ряда NFS-серверов удалось существенно повысить эффективность выполнения задач CMS на сайте ОИЯИ. В конеч-

ном итоге проведенные работы по реконфигурации существенно повысили эффективность работы GRID-сайта ОИЯИ в целом.

Производительность GRID-сайта ОИЯИ, являющегося GRID-сайтом уровня Tier2, остается сопоставимой с производительностью GRID-сайтов уровня Tier1, а по показателям надежности работы превосходит некоторые из них. По количеству процессорного времени, затраченного на выполнение задач CMS в течение 2008–2009 гг., GRID-сайт ОИЯИ находится в числе наиболее продуктивных GRID-сайтов CMS. Будучи полностью интегрированным в GRID-инфраструктуру CMS, GRID-сайт ОИЯИ на данный момент полностью соответствует требованиям CMS как с точки зрения технического оснащения, так и программного окружения.

### **3. СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ННЦ ХФТИ**

Первая очередь прототипа специализированного вычислительного центра для обеспечения работ в рамках эксперимента CMS в ННЦ ХФТИ была создана в 2001 г. (см. [8]) и представляла собой Linux-кластер, построенный на нескольких процессорах типа Pentium III. Прототип постоянно модернизировался с обновлением его элементной базы и наращиванием ресурсов. К моменту запуска БАК он представляет собой уже полноценный, сертифицированный ВК, который готов к участию в распределенной обработке данных CMS и приближается по своим аппаратным характеристикам к параметрам, определенным в [4] для «номинального» T2-центра этого эксперимента.

Комплекс объединяет более 30 высокопроизводительных двухпроцессорных узлов с CPU архитектуры x86-64. Кроме того, два сервера (4 CPU архитектуры AMD64) обеспечивают интерактивную работу пользователей (в частности запуск задач анализа выборок данных CMS в среде WLCG, используя сконфигурированный на них интерфейс пользователя GRID (UI)). Еще один двухпроцессорный (AMD64) сервер обслуживает обмен данными между комплексом и другими субъектами GRID-инфраструктуры CMS. Согласно принятой в эксперименте процедуре обмена данными, на этом узле установлены CMS VObox и комплекс PhEDEx. Помимо этого, данный узел выполняет функции Интернет-шлюза для рабочих узлов системы, и на нем сконфигурирован прокси-сервер (SQUID) для задач, использующих специализированное программное обеспечение эксперимента CMS.

Все узлы работают под ОС Scientific Linux CERN (SLC) (версии 4 и 5). В соответствии с принятыми в WLCG стандартами для обработки пакетных задач используется система OpenPBS/Torque с планировщиком Maui.

В настоящее время для выполнения задач пользователей виртуальной организации (VO) CMS, поступающих из WLCG, на WN комплекса выделяется

**Результаты тестирования производительности CPU на рабочих узлах (WN) ВК  
ННЦ ХФТИ (в единицах HEPspec06 [9])**

Платформа	ОС	Ядро ОС	RAM	gcc	Тип теста	Результат	На одно CPU ядро
Dual Intel Xeon EM64T 3.4 GHz	SLC5	2.6.18– 128.7.1.el5	4 Гбайт	4.1.2	S2k6 all_cpp 64bit	13.8	6.9
Dual CPU, Quad Core, Intel Xeon E5420 2.5 GHz	SLC5	2.6.18– 128.7.1.el5	16 Гбайт	4.1.2	S2k6 all_cpp 64bit	63.8	8.0

~ 70 процессорных ядер. Все WN работают под ОС SLC5, но по своей аппаратной платформе подразделяются на два типа. Для каждого из этих типов были выполнены тесты производительности процессоров, следуя процедуре [9]. Результаты представлены в таблице.

Комплекс также включает хранилище информации (SE) — массовую дисковую память типа DPM [10], которое является распределенным. Его образуют 12 дисковых серверов с аппаратными RAID5- и RAID6-дисковыми массивами, снабженными дисками быстрой («hot-spare») аварийной замены. К осени 2009 г. общая емкость этого SE составляла 50 Тбайт. В результате проводимой реконструкции хранилища его дисковая память, доступная для пользователей ВО CMS, будет доведена до 125 Тбайт к моменту поступления первых данных с БАК.

С 2005 г. специализированный ВК ННЦ ХФТИ для участия в программе эксперимента CMS зарегистрирован в структурах WLCG/EGEE под именем Kharkov-KIPT-LCG2 (см., например, [11]). После конфигурации и отладки необходимых версий программного обеспечения эксперимента CMS (CMSSW, PhEDEx, проч.) он был также зарегистрирован в базе данных CMS [12] с именем T2\_UA\_KIPT.

В июне 2009 г. комплекс T2\_UA\_KIPT успешно выполнил все сертификационные тесты CMS и с тех пор находится в составе группы региональных центров, готовых к участию в распределенной обработке данных CMS на уровне центра 2-го яруса WLCG. Сертификация для T2\_UA\_KIPT первых 6 каналов поступления данных от T1-сайтов (T1\_CERN\_Buffer, T1\_ES\_PIC, T1\_DE\_FZK, T1\_IT\_CNAF, T1\_US\_FNAL, T1\_FR\_CCIN2P3) прошла с вполне удовлетворительной скоростью передачи данных, и сертификационный порог (20 Мбайт/с в течение суток) был превышен, по меньшей мере, в 12 раз. Указанные 6 сертификационных тестов были выполнены немногим более чем за месяц. При этом в общей сложности более 30 Тбайт информации было передано на SE комплекса T2\_UA\_KIPT. К концу лета 2009 г. для T2\_UA\_KIPT

были сертифицированы 7 каналов поступления данных от структур 1-го яруса и два канала для отправки информации обратно в T1-центры.

После сертификации в качестве T2-центра грид-инфраструктуры эксперимента CMS комплекс ННЦ ХФТИ стабильно удовлетворял требованиям мониторинга готовности [7] и к августу 2009 г. был отнесен к группе T2-сайтов CMS, рекомендованных для участия в компьютерной генерации событий и распределенной обработке реальных данных этого эксперимента. Во втором полугодии 2009 г. (накануне запуска LHC) T2\_UA\_KIPT являлся одним из наиболее стабильных T2-центров CMS. Можно констатировать, что оба вычислительных центра — T2\_UA\_KIPT и T2\_RU\_JINR (комплекс ЛИТ ОИЯИ) — находятся в группе региональных центров CMS, обладающих наиболее высокими показателями по качеству работы.

Разумеется, задачи мониторинга работы регионального вычислительного центра эксперимента CMS не потребляют сколько-нибудь значительных ресурсов системы. Доля JR-задач в общей загрузке системы также является пренебрежимой по сравнению с вкладом от компьютерной генерации событий и анализа уже сгенерированных данных. Так, например, в течение лета 2009 г. на генерацию данных на T2\_UA\_KIPT выделялось ~ 50 процессорных ядер, а на комплексе ЛИТ ОИЯИ T2\_RU\_JINR в отдельные дни было полностью задействовано более 500 ядер.

В октябре 2009 г. была проведена последняя перед запуском БАК широкомасштабная проверка («October exercise») готовности компьютерной инфраструктуры CMS к поступлению первой экспериментальной информации с коллайдера, в которой приняли участие вычислительные центры ЛИТ ОИЯИ и ННЦ ХФТИ. Накануне этой проверки (в сентябре–октябре 2009 г.) на комплекс T2\_UA\_KIPT для выполнения на нем работ по анализу выборок событий было передано ~ 18,3 Тбайт предварительно сгенерированных («виртуальных») данных. При этом наибольшее количество информации (~ 11 Тбайт) поступило из T1-центра Национальной лаборатории им. Э. Ферми (США) T1\_US\_FNAL. Следует отметить, что выполнение работ, связанных с октябрьской проверкой, не привело к какому-либо ухудшению качественных показателей [7] работы центра T2\_UA\_KIPT. Проверка подтвердила готовность как T2-центров (в частности ВК ЛИТ ОИЯИ и ННЦ ХФТИ), так и грид-инфраструктуры эксперимента CMS в целом к поступлению данных с БАК.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Рассмотрены вопросы обеспечения участия вычислительных центров ЛИТ ОИЯИ и ННЦ ХФТИ в распределенной обработке экспериментальной информации, аккумулируемой в эксперименте CMS.

Накануне запуска БАК (конец 2009 г.) особенно важным является поддержка на должном уровне надежности и стабильности работы вычислительных комплексов как элементов WLCG и как T2-сайтов эксперимента CMS. Определяющее значение для допуска вычислительных структур к работам по распределенной (основанной на WLCG) обработке экспериментальной информации с БАК имеет оценка степени их соответствия компьютерной модели CMS [4] и качества работы в целом. При этом ключевым условием является сертификация элементов грид-инфраструктуры эксперимента CMS в качестве центров определенного яруса (T1-, T2- или T3-центров) в иерархии WLCG.

Комплексы ЛИТ ОИЯИ (T2\_RU\_LJNR) и ННЦ ХФТИ (T2\_UA\_KIPT) были сертифицированы в качестве T2-центров CMS за несколько месяцев до запуска БАК (к середине 2009 г.), и в дальнейшем их готовность к участию в обработке данных CMS на уровне 2-го яруса WLCG была подтверждена. Обе системы стабильно удовлетворяют всем условиям готовности, основанным на ежедневных результатах SAM- и JR-тестов, обладая при этом необходимым количеством сертифицированных каналов связи для обмена данными со структурами 1-го яруса информационно-вычислительной схемы эксперимента CMS. В этом отношении оба центра обеспечивают достаточно высокое качество предоставляемых ресурсов и сервисов (см. [7]). Проводится работа по наращиванию ресурсов ВК ЛИТ ОИЯИ и ННЦ ХФТИ в соответствии с требованиями [4] к «номинальному» T2-центру эксперимента CMS.

Работа поддержана грантами Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) и Национальной академии наук Украины (НАНУ), выделенными на основании конкурса совместных научных проектов РФФИ и НАНУ на 2008–2009 гг. (проект РФФИ № 08-07-90410-Укр-а и договор НАНУ № 36/30-2008).

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Bayatian G. et al. (The CMS Collab.)*. The Compact Muon Solenoid Technical Proposal. CERN/LHCC 94–38. 1994.
2. *Bayatian G. et al. (The CMS Collab.)* // J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. 2007. V. 34. P. 995; 2307.
3. LHC Computing Grid Project. <http://lcg.web.cern.ch>
4. *Bayatian G. et al. (The CMS Collab.)*. CMS: The Computing Project; Technical Design Report. CERN-LHCC-2005-023. CMS TDR 7. 2005.
5. *Aderholz M. et al.* Models of Networked Analysis at Regional Centers for LHC Experiments (MONARC) — Phase 2 Report. CERN/LCB-2000-001. 2000.

6. *Bonacorsi D. (The CMS Collab.) // Nucl. Phys. B (Proc. Supl.), 2007. V. 172. P. 53.*
7. PADA Site Readiness.  
<https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/CMS/PADASiteCommissioning>
8. *Левчук Л. Г. и др. // Вопр. атомн. науки и техн. Сер. «Ядерно-физические исследования». 2002. № 2(40). С. 49.*
9. Running HEP-SPEC.  
<https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/FIOgroup/TsiBenchHEPSPEC>
10. LCG Disk Pool Manager (DPM) Administrators Guide.  
<https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/LCG/DpmAdminGuide>
11. *Zub S. et al. // Nucl. Instr. Meth. A. 2006. V. 559. P. 35.*
12. CMS SiteDB: Site Directory. <https://cmsweb.cern.ch/sitedb>

Получено 3 февраля 2010 г.

Редактор *А. И. Петровская*

Подписано в печать 27.04.2010.

Формат 60 × 90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 0,81. Уч.-изд. л. 0,98. Тираж 330 экз. Заказ № 56976.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований  
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.

E-mail: [publish@jinr.ru](mailto:publish@jinr.ru)

[www.jinr.ru/publish/](http://www.jinr.ru/publish/)