

УДК 004.75

## РОЛЬ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ AGIS В ОБЕСПЕЧЕНИИ РАСПРЕДЕЛЁННОЙ ОБРАБОТКИ И МОДЕЛИРОВАНИЯ ДАННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТА ATLAS

**А. В. Анисёнков**

*Институт ядерной физики им. Г. И. Буджера СО РАН,  
630090, г. Новосибирск, просп. Академика Лаврентьева, 11  
Новосибирский государственный университет,  
630090, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2  
E-mail: Alexey.Anisenkov@cern.ch*

При проведении современного эксперимента в области физики высоких энергий особое внимание уделяется вопросу глобальной интеграции информационных и вычислительных ресурсов в единую систему для осуществления эффективного хранения и обработки экспериментальных данных. Эксперимент ATLAS, проводимый на ускорительном комплексе Большого адронного коллайдера в Европейском центре ядерных исследований, ежегодно производит десятки петабайт данных с регистрирующей электроники, а также порядка петабайт данных с системы моделирования. Для обработки и хранения подобных сверхбольших объёмов данных компьютерная модель эксперимента ATLAS базируется на технологии географически распределённых параллельных вычислений, включающей глобальную грид-инфраструктуру проекта WLCG (Worldwide LHC Computing Grid) и способной удовлетворить требования эксперимента по обработке огромных массивов данных и обеспечить высокую степень их доступности (масштаба сотен петабайт). Рассматривается центральная информационная система AGIS (ATLAS Grid Information System), используемая коллаборацией ATLAS для описания топологии и ресурсов компьютерной инфраструктуры эксперимента, настройки и связи высокоуровневых программных систем вычислительных центров, описания и хранения всевозможных параметров, управляющей, конфигурационной и другой вспомогательной информации, необходимой для эффективного функционирования служб и сервисов глобальной распределённой системы обработки. Обозначена роль системы AGIS в создании концепции общего описания ресурсов вычислительных центров грид-узлов, суперкомпьютерных центров и ресурсов облачных вычислений в единую информационную модель для эксперимента ATLAS. Данный подход позволил коллаборации расширить вычислительные возможности проекта WLCG и интегрировать суперкомпьютеры и платформы облачных вычислений в программные компоненты системы распределённого анализа и запуска заданий (PanDA, ATLAS Production and Distributed Analysis workload management system).

*Ключевые слова:* распределённые вычисления, информационные системы, сервисы грид, интеграция вычислительных ресурсов.

DOI: 10.15372/AUT20180213

**Введение.** Эксперимент ATLAS [1] — один из четырёх основных экспериментов, проводимых на Большом адронном коллайдере (БАК, LHC) в Европейском центре ядерных исследований (CERN, Швейцария), был основан для поиска сверхтяжёлых элементарных частиц (например, недавно открытой на нём же фундаментальной частицы бозона Хиггса) и изучения физики за рамками Стандартной модели. Объёмы научных расчётов и масштаб вовлечённых данных эксперимента ATLAS требуют значительных вычислительных мощностей для обработки, анализа и моделирования данных. Так, с момента запуска БАК в 2008 г. во время первого этапа работ (2009–2013 гг.) и продолжающегося сегодня второго этапа работ коллайдера (2015–2018 гг.) эксперимент ATLAS накопил, смоделировал и распределил по всему миру сотни петабайт (300 PB, сентябрь 2017 г.) данных в инфраструктуру вычислений для дальнейшей обработки более чем в 150 вычислительных

центрах. Возможности этой системы вычислений эксперимента позволяют одновременно выполнять порядка 150 тысяч заданий на постоянной основе, предоставляемых грид-инфраструктурой WLCG (Worldwide LHC Computing Grid или Всемирная грид-сеть для Большого адронного коллайдера) [2], а также дополнительно использовать порядка 200 тысяч временных слотов ресурсов суперкомпьютерных центров и платформ облачных вычислений.

Для высокоуровневой настройки и управления компьютерной системой эксперимента коллаборация ATLAS использует информационную систему AGIS (ATLAS Grid Information System), которая является совокупностью технического и программного обеспечения, отвечающего за централизованное хранение и интеграцию всевозможных настроек служб и сервисов распределённой системы вычислений, описывает связи между различными компонентами программного обеспечения обработки данных и предоставляет в итоге пользователям эксперимента центральный информационный портал для управления информацией.

### **Распределённая вычислительная инфраструктура эксперимента ATLAS.**

Распределённая система вычислений эксперимента ATLAS представляет собой гетерогенную сеть географически распределённых вычислений, включающую глобальную грид-инфраструктуру проекта WLCG — так называемые ресурсы, доступные эксперименту на постоянной основе, а также временно доступные вычислительные мощности — ресурсы суперкомпьютерных центров, платформ облачных вычислений, высокопроизводительных университетских и исследовательских кластеров. Всемирная грид-инфраструктура для Большого адронного коллайдера (WLCG) состоит из нескольких распределённых подсетей, таких как Европейская грид-сеть проекта EGI (European Grid Infrastructure) [3], грид-сеть консорциума OSG (Open Science Grid) [4], географически расположенная в США, грид-инфраструктура NorduGrid [5] (изначально ориентированная на Скандинавские страны), а также более мелкие региональные подсети.

Архитектура используемых вычислительных сред, их программно-аппаратная реализация, а также связующее программное обеспечение достаточно разнородны в силу использования различных технологий организации вычислений и требуют особого внимания и подходов для их интеграции в единую гетерогенную вычислительную среду эксперимента ATLAS и создания единого описания доступных компьютерных мощностей. С точки зрения информационного обеспечения эксперимент ATLAS решает данные вопросы единообразного доступа к гетерогенным ресурсам посредством системы AGIS, которая в контексте организации глобальной архитектуры системы вычислений является высокоуровневой связующей компонентой грид-инфраструктуры, интегрирующей описания ресурсов вовлечённых грид-подсетей и высокопроизводительных платформ суперкомпьютеров, облачных вычислений в единую компьютерную модель эксперимента.

В дальнейшем программные компоненты и функциональные элементы системы распределённых вычислений ADC (ATLAS Distributed Computing) [6], такие как центральная система управления данными Rucio (ATLAS Distributed Data Management) [7], система распределённого анализа и запуска заданий PanDA (ATLAS Production and Distributed Analysis workload management system) [8], службы мониторинга, контроля доступа и учёта потребляемых ресурсов, сервисы поддержания различных версий высокоуровневого ПО обработки данных и другие используют систему AGIS как основной ресурс для получения данных компьютерной модели эксперимента, топологии вычислительной среды, описания параметров настройки ресурсов и сервисов распределённой системы вычислений.

**Задачи информационной системы.** Система AGIS как информационный ресурс связующего программного обеспечения распределённой вычислительной среды эксперимента ATLAS предназначена для эффективного конфигурирования и функционирования

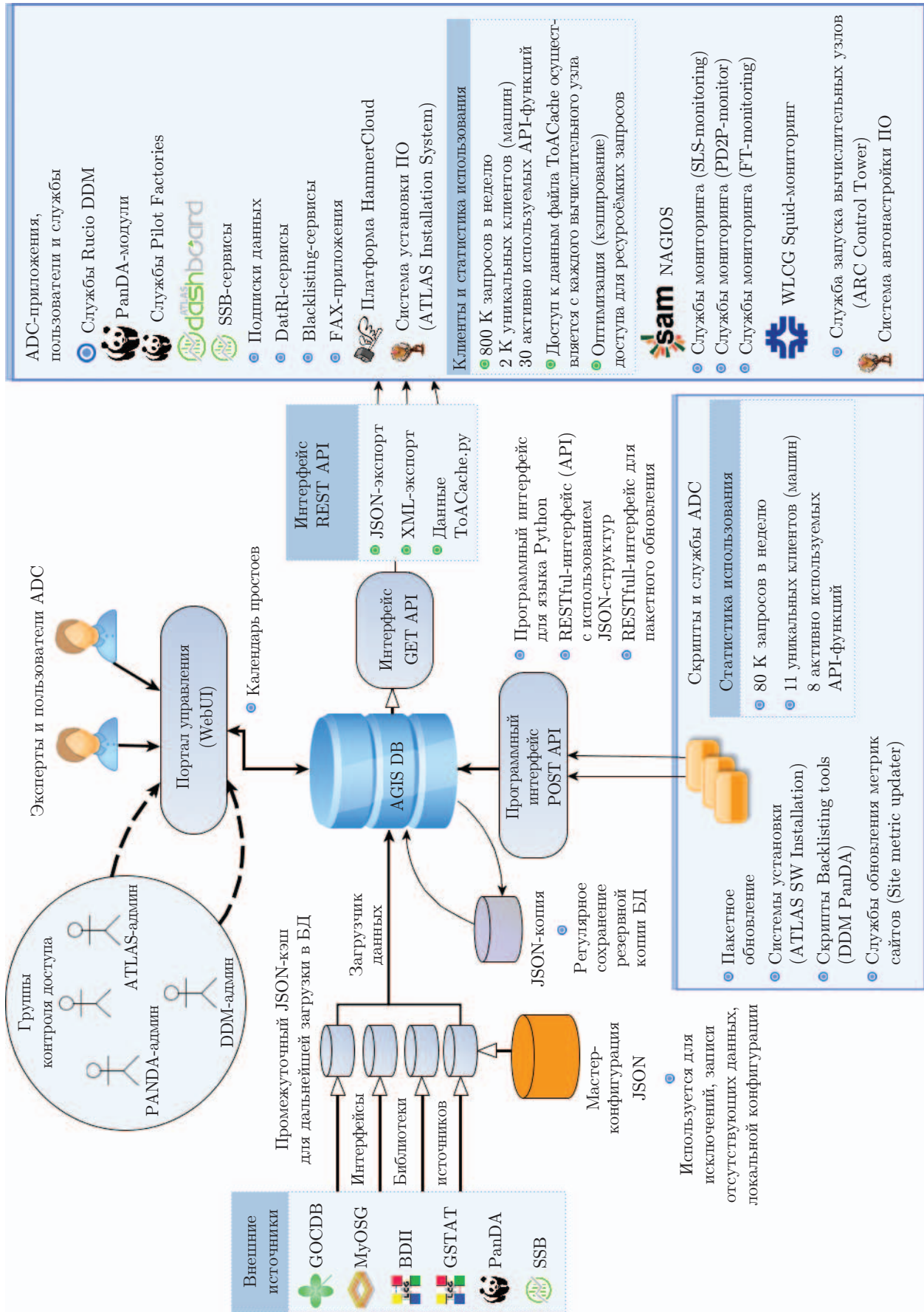
распределённой сети обработки и хранения данных, а также решения следующих поставленных перед ней задач:

- описание компьютерной грид-инфраструктуры, вычислительных мощностей и ресурсов хранения, предоставляемых грид-сетью;
- описание ресурсов суперкомпьютерных центров и платформ облачных вычислений, их дальнейшая интеграция в компьютерную модель эксперимента;
- описание компьютерной модели эксперимента, топологии и связи между различными компонентами программного обеспечения системы обработки данных;
- интеграция конфигурационных параметров и настроек высокоуровневых служб и сервисов распределённой сети;
- создание единого информационного портала (WebUI) для управления информацией пользователями эксперимента;
- предоставление единых программных интерфейсов (API на основе REST-технологий) для приложений и сервисов распределённой системы обработки;
- проверка целостности информации, валидация введённых пользователями данных, отслеживание истории изменения данных, разграничение прав доступа и защита информации, а также набор функций, направленных на облегчение конфигурирования и использования как информационной компоненты, так и всей системы обработки данных с точки зрения конечного пользователя.

**Архитектура и роль системы AGIS.** Информационная система отвечает за централизованное хранение конфигурационных параметров, различных статических и динамических данных, необходимых для настройки, управления и функционирования систем и сервисов распределённой среды эксперимента ATLAS. Реализуя подход клиент-серверной архитектуры к контролю и управлению этими данными, информационная система предоставляет пользовательские интерфейсы WebUI и CLI (Command Line Interface), а также интерфейс прикладного программирования API (Application Programming Interface).

На рисунке схематически отображена архитектура системы AGIS. Система содержит в своей внутренней базе данных как информацию, для которой она является первичным источником (например, описание суперкомпьютерных центров и узлов облачных вычислений), так и внешние параметры, автоматически собираемые с других информационных систем, ресурсов и внешних источников (например, база данных Операционного центра грид-инфраструктуры EGI — GOCDB, Grid Operations Center Database [9]). Для таких внешних данных AGIS выступает временным буфером и периодически осуществляет автоматическую проверку актуальности и синхронизацию значений с помощью специализированных модулей (так называемых коллекторов). Следующие внешние источники используются модулями системы для наполнения и проверки данных информационной модели AGIS: сервис операционного центра GOCDB грид-инфраструктуры EGI, конфигурационная база данных MyOSG [10] грид-инфраструктуры OSG, информационные сервисы грид-узлов BDII верхнего уровня (top-level Berkeley Database Information Index, BDII), портал учёта использования ресурсов REBUS (WLCG REsource, Balance and USage) [11], сервисы экспорта данных описания вычислительных элементов архитектуры HTCondor-CE и другие.

Важной функцией для эксперимента ATLAS является способность системы AGIS проверить и исправить получаемые значения с внешних источников, дополнить информацию в случае необходимости и предоставить экспорт данных посредством интерфейса REST API в требуемом структурном виде (например, XML или JSON) для приложений и служб распределённой системы вычислений эксперимента. Использование принципа RESTful [12] в реализации пользовательских интерфейсов API (особенно для служб экспорта данных) посредством передачи состояния представления, не зависящего от конкретного языка программирования, позволило значительно расширить область применения продукта AGIS и осуществить миграцию различных программных компонент инфраструктуры вычислений



ATLAS (прежде зависящих от конкретной версии языка программирования) на решение с использованием архитектуры REST-служб. В качестве примера можно упомянуть модуль описания структур данных грид-сайтов (TiersOfATLAS.py), ранее реализованный на языке Python, который был успешно заменён REST-службами экспорта данных системы AGIS. Серверная часть программного обеспечения AGIS создана с помощью фреймворка разработки web-приложений Django на языке Python, в то время как клиентская часть портала WebUI активно использует технологии построения интерактивных сервисов Web 2.0 на основе технологий инструментов AJAX и JQuery.

Одной из ключевых особенностей системы AGIS является её внутренняя реализация информационной модели компьютерных ресурсов. Основная концепция модели заключается в разделении и структурировании ресурсов (как программных сервисов, так и физических компьютерных мощностей), предоставляемых грид-сайтами WLCG-сети, с одной стороны, и их фактическим отображением и организацией, с другой стороны, с точки зрения использования в конкретном эксперименте (ATLAS). К базовым элементам компьютерной модели относятся: центральная модель физического грид-сайта (Site); сервисы и службы грид-узлов (CE, SE, FTS, LFC, Frontier, Squid и др.); модель описания сайта, как его видит система обработки эксперимента ATLAS (ATLASSite); структуры данных, определяющие ресурсы распределённого хранения (StorageElement, DDMEndpoint); структуры объектов, описывающие узлы запуска заданий (ComputingElement, PandaSite, PandaQueue); различные конфигурационные структуры для описания сервисов Frontier-Squid, обеспечивающих одновременный доступ к системам баз данных для задач и приложений, работающих на каждом вычислительном узле; конфигурация сервисов производительности архитектуры PerfSonar (PERFORMANCE Service Oriented Network monitoring ARchitecture); производительные метрики передачи данных (TransferMatrix) и другие.

Таким образом, AGIS скрывает разнородность компьютерной инфраструктуры эксперимента, предоставляя пользователю единое описание топологии вычислительных ресурсов распределённой сети. Этот подход иллюстрирует гибкость информационной системы и способность интеграции новых технологий обработки и хранения данных в единое описание компьютерной модели эксперимента. Например, после соответствующего расширения внутренней информационной модели система AGIS позволяет интегрировать высокопроизводительные ресурсы суперкомпьютерных центров и облачных вычислений в компьютерную модель эксперимента. Для настройки подобных сайтов пользователям системы необходимо создать объекты описания физических ресурсов суперкомпьютерных центров (уровень "provided by") непосредственно через пользовательский интерфейс управления WebUI и связать их стандартным способом (таким же, как и для грид-сайтов WLCG) с высокоуровневыми объектами (уровень "used by") для дальнейшего их использования в программных компонентах и системах распределённых вычислений ADC.

Следует отметить особую роль информационной системы в проведении различных кампаний миграций программного обеспечения, процедур тестирования новых интерфейсов и приложений средств распределённых вычислений и во внедрении новых технологий и подходов внутри эксперимента ATLAS, затрагивающих описание компьютерной модели и эволюцию вычислительной инфраструктуры в целом. Во время таких кампаний миграций или обновлений система AGIS, изолируя изменения и осуществляя соответствующее расширение внутренней информационной модели, предоставляет зависимым приложениям инфраструктуры вычислений ADC одновременно обе реализации информационного ядра (сохраняя методы экспорта данных в совместимом формате), позволяя тем самым осуществить пошаговую миграцию индивидуально для каждой программной компоненты (или сайта) в рамках общей кампании обновления без остановки системы обработки данных. В качестве примеров подобных мероприятий во время второго этапа работы ЛНС можно привести следующие кампании: консолидация и обновление служб грид-инфраструктуры сер-

веров файловых каталогов LFC (Local File Catalog), централизованное обновление и перевод служб передачи файлов FTS (File Transfer Service) на архитектуру RESTful, внедрение и развитие федеративного доступа к распределённому дисковому пространству на основе сервисов XRootD для удалённого доступа к данным, внедрение в компьютерную инфраструктуру эксперимента нового типа ресурса хранения на основе технологии ObjectStore [13], консолидация описания вычислительных ресурсов, элементов хранения данных и модулей передачи данных SiteMovers (PilotCopyTool) для системы PandDA Pilot и другие.

Компьютерная модель эксперимента постоянно эволюционирует, и система AGIS в подобных кампаниях выполняет ключевую роль по обеспечению необходимого функционала для расширения моделей и требуемых интерфейсов при управлении, настройке, интеграции и экспорте данных.

**Заключение.** Многообразие компьютерной инфраструктуры эксперимента ATLAS (разнородность аппаратно-программных реализаций; использование различных грид-технологий, высокопроизводительных суперкомпьютерных центров и платформ облачных вычислений; гетерогенность вычислительной среды в целом) мотивировало разработку центрального связующего информационного звена — информационной системы AGIS — для эффективной настройки и функционирования распределённой сети обработки и хранения данных. Информационная система AGIS активно применяется в производстве, начиная с середины первого этапа работ LHC, как главное информационное обеспечение для настройки распределённой вычислительной среды эксперимента ATLAS. Предоставляя единое описание компьютерной модели и вычислительной инфраструктуры в целом, дополняя и интегрируя данные от низкоуровневых информационных провайдеров и систем, AGIS адаптируется к новым функциональным требованиям вычислительной инфраструктуры и позволяет внедрить новые технологии обработки и хранения данных гетерогенной среды в производство эксперимента. В частности, гибкость внутренней информационной модели системы даёт возможность интегрировать ресурсы суперкомпьютеров и платформ облачных вычислений в единую распределённую среду, которые во время второго этапа работ LHC начинают все более активно использоваться коллаборацией ATLAS для обработки данных.

На сегодняшний день информационная система эволюционирует и расширяет границы применимости за пределы эксперимента ATLAS: развитие системы AGIS в не зависящий от эксперимента фреймворк (как единой информационной системы WLCG) происходит в новом проекте «Информационный каталог компьютерных ресурсов» (CRIC — Computing Resource Information Catalog) [14]. Система CRIC будет предоставлять информационные сервисы для доступа не только к ресурсам коллаборации ATLAS, но и сможет описывать топологию вычислительных моделей и данные других экспериментов (в частности, экспериментов LHC), использующих распределённую инфраструктуру для обработки экспериментальных данных.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Aad G., Abat E., Abdallah J. et al.** The ATLAS Experiment at the CERN Large Hadron Collider // Journ. Instrumentation. 2008. **3**. S08003.
2. **WLCG.** Worldwide LHC Computing Grid. URL: <http://wlcg.web.cern.ch/> (дата обращения: 8.11.2017).
3. **EGI.** The European Grid Initiative. URL: <http://www.egi.eu> (дата обращения: 8.11.2017).
4. **Pordes R., Petravick D., Kramer B. et al.** The open science grid // Journ. Phys.: Conf. Ser. 2007. **78**. 012057.
5. **Ellert M., Konstantinov A., Kónya B. et al.** The NorduGrid project: Using Globus toolkit for building Grid infrastructure // Nucl. Instrum. and Meth. 2003. **502**, Is. 2–3. P. 407–410.

6. **Campana S.** ATLAS Distributed Computing in LHC Run2 // Journ. Phys.: Conf. Ser. 2015. **664**. 032004.
7. **Serfon C., Barisits M., Beermann T. et al.** Rucio, the next-generation Data Management system in ATLAS // Nucl. Part. Phys. Proc. 2016. **273–275**. P. 969–975.
8. **De K., Klimentov A., Maeno T. et al.** The future of PanDA in ATLAS distributed computing // Journ. Phys.: Conf. Ser. 2015. **664**. 062035.
9. **Mathieu G., Richards A., Gordon J. et al.** GOCDB, a topology repository for a worldwide grid infrastructure // Journ. Phys.: Conf. Ser. 2010. **219**. 062021.
10. **MyOSG.** Open Science Grid Information service. URL: <http://myosg.grid.iu.edu/about> (дата обращения: 8.11.2017).
11. **REBUS.** WLCG REsource Balance and Usage. URL: <http://wlcg-rebus.cern.ch> (дата обращения: 8.11.2017).
12. **Representational State Transfer.** URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Representational\\_state\\_transfer](https://en.wikipedia.org/wiki/Representational_state_transfer) (дата обращения: 8.11.2017).
13. **Object Storage.** URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Object\\_storage](https://en.wikipedia.org/wiki/Object_storage) (дата обращения: 8.11.2017).
14. **Alandes M., Andreeva J., Anisenkov A. et al.** Consolidating WLCG topology and configuration in the Computing Resource Information Catalogue // Journ. Phys.: Conf. Ser. 2017. **898**. 092042.

*Поступила в редакцию 8 ноября 2017 г.*

---