

УДК: 004.75

## Подходы к интеграции облачных инфраструктур

А. В. Баранов<sup>1</sup>, В. В. Кореньков<sup>1,2</sup>, В. В. Юрченко<sup>3</sup>, Н. А. Балашов<sup>1</sup>,  
Н. А. Кутовский<sup>1,2,a</sup>, Р. Н. Семёнов<sup>1,2</sup>, С. Я. Свистунов<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Лаборатория информационных технологий, Объединенный институт ядерных исследований,  
Россия, 141980, Московская область, г. Дубна, ул. Жолио-Кюри, д. 6

<sup>2</sup> Российский экономический университет им. Г. В. Плеханова,  
Россия, 117997, г. Москва, Стремянный пер., д. 36

<sup>3</sup> Институт теоретической физики им. Н. Н. Боголюбова,  
Украина, 03680, г. Киев, ул. Метрологическая, д. 14-б

E-mail: <sup>a</sup> kut@jinr.ru

*Получено 16.12.2015, после доработки – 21.03.2016.*

*Принято к публикации 22.03.2016.*

Одним из важных направлений развития облачных технологий на данный момент является разработка методов интеграции различных облачных инфраструктур. В научной сфере актуальность данного направления обусловлена в первую очередь часто возникающей проблемой нехватки собственных вычислительных ресурсов и необходимостью привлечения дополнительных мощностей. В данной статье рассматриваются существующие подходы к интеграции облачных инфраструктур между собой: федеративные объединения и так называемая модель cloud bursting. Федеративное объединение на базе облачной платформы OpenNebula строится по схеме «одна главная зона и несколько управляемых зон», где под «зоной» понимается каждая из инфраструктур федерации. В подобной интеграции все облачные инфраструктуры имеют единую базу пользователей, а управление всей федерацией осуществляется централизованно с главной зоны. Данная схема наиболее подходит для объединения территориально разнесенных облачных инфраструктур, например подразделений одной организации, но не подходит для объединения инфраструктур разных организаций ввиду присущего данному подходу централизованного управления, а в случае использования организациями разных облачных платформ — невозможна. Модель федеративного объединения, реализованная в европейской грид-инфраструктуре «EGI Federated Cloud», хотя и позволяет интегрировать между собой облачные инфраструктуры на базе разных платформ, однако для интеграции подобным способом требуются установка и настройка существенного дополнительного набора специфических для данной конкретной европейской грид-инфраструктуры сервисов, что лишает данный подход универсальности. Модель cloud bursting лишена ограничений перечисленных федеративных подходов, однако в случае OpenNebula, на базе которой построена облачная инфраструктура Лаборатории информационных технологий Объединенного института ядерных исследований (ЛИТ ОИЯИ), такая модель была реализована только для интеграции с фиксированным набором коммерческих поставщиков облачных ресурсов. С учетом этого, а также на основании полученного авторами статьи опыта как по объединению облачных инфраструктур представляемых ими организаций, так и интеграции с европейским облаком EGI Federated Cloud командой ЛИТ ОИЯИ был разработан драйвер для объединения облаков партнерских организаций по модели cloud bursting на базе платформы OpenNebula как с аналогичным, так и с облаками на базе OpenStack. В статье описывается архитектура этого драйвера, используемые в нем технологии и протоколы, а также опыт его применения для объединения облачных инфраструктур организаций из стран-участниц ОИЯИ.

Ключевые слова: облачные технологии, интеграция, EGI Federated Cloud, OpenNebula, OpenStack, cloud bursting

Работы по разработке драйвера и интеграции облаков поддержаны совместным грантом РФФИ и Национальной академии наук Украины № 14-07-90405 на тему «Разработка и внедрение технологии облачных вычислений на грид-сайтах уровня Tier-2 ЛИТ ОИЯИ и ИТФ им. Н. Н. Боголюбова для обработки данных эксперимента ALICE».

UDC: 004.75

## Approaches to cloud infrastructures integration

**A. V. Baranov<sup>1</sup>, V. V. Korenkov<sup>1,2</sup>, V. V. Yurchenko<sup>3</sup>, N. A. Balashov<sup>1</sup>,  
N. A. Kutovskiy<sup>1,2,a</sup>, R. N. Semenov<sup>1,2</sup>, S. Ya. Svistunov<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Laboratory of Information Technologies, Joint Institute for Nuclear Research,  
6 Joliot-Curie st., Dubna, Moscow region, 141980, Russia

<sup>2</sup>Plekhanov Russian University of Economics, 36 Stremyanny per., Moscow, 117997, Russia

<sup>3</sup>Bogolubov Institute for Theoretical Physics, 14-b Metrolohichna st., Kiev, 03680, Ukraine

E-mail: <sup>a</sup>kut@jinr.ru

*Retrieved 16.12.2015, after completion – 21.03.2016.*

*Accepted for publication 22.03.2016.*

One of the important direction of cloud technologies development nowadays is a creation of methods for integration of various cloud infrastructures. An actuality of such direction in academic field is caused by a frequent lack of own computing resources and a necessity to attract additional ones. This article is dedicated to existing approaches to cloud infrastructures integration with each other: federations and so called ‘cloud bursting’. A ‘federation’ in terms of OpenNebula cloud platform is built on a ‘one master zone and several slave ones’ schema. A term ‘zone’ means a separate cloud infrastructure in the federation. All zones in such kind of integration have a common database of users and the whole federation is managed via master zone only. Such approach is most suitable for a case when cloud infrastructures of geographically distributed branches of a single organization need to be integrated. But due to its high centralization it's not appropriate when one needs to join cloud infrastructures of different organizations. Moreover it's not acceptable at all in case of clouds based on different software platforms. A model of federative integration implemented in EGI Federated Cloud allows to connect clouds based on different software platforms but it requires a deployment of sufficient amount of additional services which are specific for EGI Federated Cloud only. It makes such approach is one-purpose and uncommon one. A ‘cloud bursting’ model has no limitations listed above but in case of OpenNebula platform what the Laboratory of Information Technologies of Joint Institute for Nuclear Research (LIT JINR) cloud infrastructure is based on such model was implemented for an integration with a certain set of commercial cloud resources providers. Taking into account an article authors’ experience in joining clouds of organizations they represent as well as with EGI Federation Cloud a ‘cloud bursting’ driver was developed by LIT JINR cloud team for OpenNebula-based clouds integration with each other as well as with OpenStack-based ones. The driver's architecture, technologies and protocols it relies on and an experience of its usage are described in the article.

Keywords: cloud computing, integration, EGI Federated Cloud, OpenNebula, OpenStack, cloud bursting

Citation: *Computer Research and Modeling*, 2016, vol. 8, no. 3, pp. 583–590 (Russian).

The work related with cloud bursting driver development and clouds integration was supported by Russian Foundation for Basic Research (RFBR) grant #14-07-90405 ‘Cloud computing technologies development and integration into BITP and LIT JINR Tier-2 grid sites for ALICE experiment data processing’.

## Введение

Облачные инфраструктуры получили широкое распространение в академической сфере, и многие мировые научные организации создают или уже имеют собственные частные облачные сервисы. Часто, в силу быстрого роста вычислительных потребностей, частные облачные сервисы очень быстро исчерпывают свободные ресурсы и уже не способны справиться с пиковыми нагрузками. Одним из возможных путей решения этой проблемы является интеграция собственной облачной инфраструктуры организации с облачными инфраструктурами организаций-партнеров или с коммерческими облачными сервисами (например, Amazon EC2 [Amazon EC2: [сайт]. URL: <https://aws.amazon.com/ec2/>] или Rackspace [Rackspace: [сайт]. URL: <http://www.rackspace.com>]).

На данный момент наиболее распространены два метода интеграции облачных инфраструктур, построенных на модели «инфраструктура как сервис» (Infrastructure as a Service, IaaS): федеративное объединение нескольких инфраструктур и так называемый cloud bursting.

## Федеративное объединение

### *OpenNebula Federated Cloud*

Некоторые облачные платформы, например OpenNebula [Moreno-Vozmediano, Montero, Llorente, 2012], на которой построен облачный сервис ОИЯИ, позволяют объединять несколько различных инфраструктур в единую федерацию. Каждая инфраструктура в федерации OpenNebula называется зоной (zone), и федерация строится по схеме «одна главная зона и несколько управляемых зон» (master-slave). В подобной интеграции все облачные инфраструктуры имеют единую базу пользователей, а управление всей федерацией осуществляется централизованно с главной зоны.

Подобная схема интеграции удобна для объединения территориально разнесенных облачных инфраструктур одной организации (например, ее подразделений), но не подходит для объединения инфраструктур разных организаций ввиду присущей данному подходу централизованного управления, а в случае использования организациями разных платформ — невозможно.

### *EGI Federated Cloud*

Федеративное облако Европейской грид-инфраструктуры (ЕГИ) [Fernández-del-Castillo, Scardacia, López García, 2015] — это интеграция европейских частных академических облаков и виртуализованных ресурсов, построенная на открытых стандартах и нацеленная на решение задач научного сообщества. Результатом этой интеграции является новый тип исследовательской электронной инфраструктуры, основанной на федеративном управлении сервисами.

Для пользователей предлагается четыре модели использования инфраструктуры:

- хостинг сервисов: веб-серверы, базы данных и т. д.;
- высоконагруженные вычисления и обработка данных;
- репозиторий данных;
- одноразовые и тестовые среды.

Интеграция инфраструктур в федеративное облако ЕГИ основывается на использовании двух интерфейсов: Open Cloud Computing Interface (OCCI) [OCCI: [сайт]. URL: <http://occi-wg.org>] для управления вычислительными ресурсами и Cloud Data Management Interface (CDMI) [CDMI: [сайт]. URL: <http://www.snia.org/cdmi>] для управления хранилищами данных.

Для управления пользователями применяется технология единого входа (Single Sign-On, SSO), использующая единую базу пользователей для доступа во все инфраструктуры федерации.

Разграничение доступа к ресурсам осуществляется в рамках «виртуальных организаций» (ВО), позволяющих пользователям из определенной ВО получить доступ к ресурсам провайдера, поддерживающего данную ВО.

Кроме стандартного интерфейса командной строки, который позволяет пользователям управлять виртуальными ресурсами с использованием поддерживаемых протоколов (OSCI и CDMI), задействованы программные системы, использующие веб-интерфейс как для управления виртуальными ресурсами, так и для объединения облачных инфраструктур. Федеративное облако ЕГИ рекомендует использовать следующие программные приложения: SlipStream [SlipStream: [сайт]. URL: <http://sixsq.com/products/slipstream/>], VMDIRAC [VMDIRAC: [сайт]. URL: <https://github.com/DIRACGrid/VMDIRAC/wiki>], Vcycle [McNab, Love, MacMahon, 2015], CERN VM Online [Lestaris et al., 2014].

SlipStream обеспечивает веб-интерфейс для создания сложных, мультимашинных приложений и автоматизации их развертывания в облачных инфраструктурах. Он является коммерческим продуктом компании SixSq [SixSq: [сайт]. URL: <http://sixsq.com>]. Тем не менее исходный код его ядра и всех программных коннекторов для облачных инфраструктур открыт и распространяется по лицензии Apache 2, что разрешает их бесплатное использование.

SlipStream установлен в Институте теоретической физики имени Н. Н. Боголюбова НАН Украины (г. Киев, Украина) для обеспечения доступа пользователей к облачной инфраструктуре, которая функционирует под управлением OpenStack [OpenStack: [сайт]. URL: <https://www.openstack.org>].

SlipStream имеет собственную панель управления (см. рис. 1), позволяющую создавать собственные проекты, загружать образы виртуальных машин, запускать виртуальные серверы в облачной инфраструктуре.

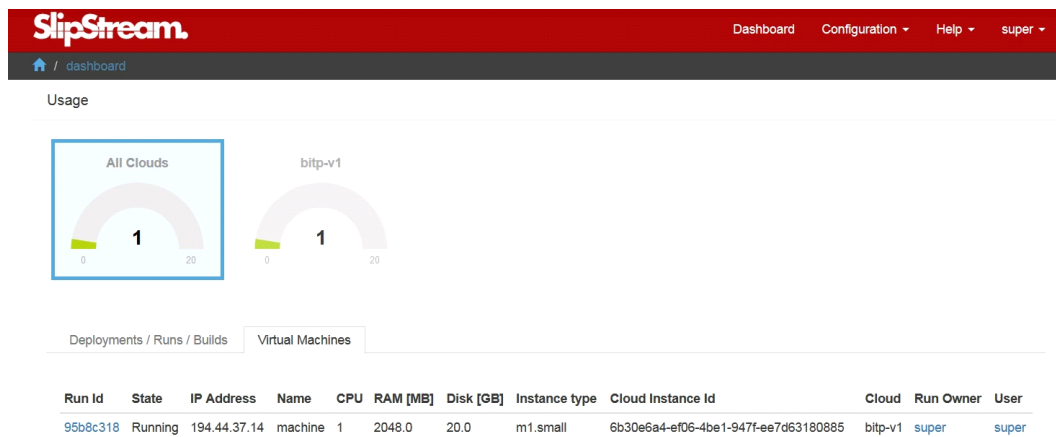


Рис. 1. Снимок экрана с видом панели управления виртуальными машинами в SlipStream

В базовый пакет SlipStream входят так называемые коннекторы для подключения облачных инфраструктур: CloudStack [CloudStack: [сайт]. URL: <https://cloudstack.apache.org>], Amazon EC2, OpenStack, StratusLab [StratusLab: [сайт]. URL: <http://www.stratuslab.eu>], vCloud [vCloud: [сайт]. URL: <http://vcloud.vmware.com>].

Подключение к Федеративному облаку Европейской грид-инфраструктуры требует выполнения набора процедур по установке специализированного промежуточного программного обеспечения для интеграции с сервисами мониторинга, информационного сервиса, учета использования ресурсов.

Облачная инфраструктура Института теоретической физики имени Н. Н. Боголюбова прошла все процедуры интеграции в федеративное облако ЕГИ и успешно проходит все тесты доступности (см. рис. 2).

В данный момент ведутся работы по подключению облачного сервиса ОИЯИ в качестве провайдера ресурсов федеративного облака ЕГИ.

cloud-4. bitp. kiev.ua	eu.egi.cloud.APEL-Pub	OK	11-24-2015 05:52:11	4d 15h 45m 49s	1/3	FedCloud Accounting Freshness OK - Accounting data for site UA-BITP found. Last update occurred 2015-11-18 16:40:59.
	eu.egi.cloud.OCCI-Context-ops	OK	11-24-2015 08:44:33	0d 18h 53m 27s	1/2	OK - OCCI model contains required kinds, mixins or other extensions
	eu.egi.cloud.OCCI-VM-ops	OK	11-24-2015 09:08:30	0d 18h 44m 52s	1/2	OK - COMPUTE instance successfully created & cleaned up. Ref. "http://cloud-4. bitp. kiev. ua/8787 /compute/922d2370-f54f-4abf-b82b-b3e05e7b8234"
	eu.egi.cloud.OpenStack-VM-ops	OK	11-24-2015 08:58:22	0d 18h 39m 38s	1/2	OK. Compute instance=9e89ee09-5bbe-4bc8-b0b4-d42630e22a44 created(5.50s) and destroyed(2.10s)
	org.nagios.Keystone-TCP	OK	11-24-2015 09:37:16	3d 21h 15m 44s	1/3	TCP OK - 3.057 second response time on port 5000
cloud-main. bitp. kiev.ua	org.nagios.OCCI-TCP	OK	11-24-2015 09:33:17	0d 18h 4m 43s	1/3	TCP OK - 0.059 second response time on port 8787
	org.nagios.CloudBDII-Check	OK	11-24-2015 09:29:18	3d 21h 16m 17s	1/3	LDAP OK - 0.192 seconds response time

Рис. 2. Снимок экрана со страницы мониторинга сервисов федеративного облака ЕГИ

### Cloud bursting

Технология cloud bursting позволяет по необходимости осуществлять выгрузку части вычислительной нагрузки в облачную инфраструктуру стороннего провайдера: это может быть как коммерческий облачный сервис, так и партнерская облачная инфраструктура, которая предоставляет какой-либо интерфейс программирования приложений (ИПП) для взаимодействия со своим облаком. При этом, в отличие от федеративной интеграции, данный подход позволяет интегрировать облачные инфраструктуры, построенные на разных платформах (OpenNebula, OpenStack и т. д.).

Интеграция облачных инфраструктур организаций-партнеров по модели cloud bursting подходит для тех случаев, когда нет необходимости обеспечивать конфиденциальность данных и алгоритмов их обработки и анализа, а также когда вычисления выполняются внутри одной виртуальной машины (ВМ) и не требуют обмена данными с другими ВМ.

Такому формату использования облачных вычислительных ресурсов соответствуют, например, обработка и анализ данных в области физики высоких энергий. Одним из типовых сценариев работы с облачными вычислительными ресурсами в этой области является следующий. В облаке размещается образ ВМ с минимально необходимым набором системного ПО, достаточным для удаленного монтирования директорий по сети, содержащих в себе системные библиотеки и набор прикладных программ нужных версий. Данные для обработки или анализа загружаются с удаленных хранилищ, на которые впоследствии выгружаются результаты, полученные после выполнения над данными заданных пользователем в сценарии работы ВМ операций. Таким образом, минимизация предустановленного в образе ВМ системного ПО позволяет использовать такой образ для широкого спектра задач. Конкретный же набор действий, который должна выполнять та или иная ВМ, включая удаленное монтирование директорий с ПО, указывается в сценарии работы ВМ, реализуемом посредством механизма так называемой контекстуализации.

Возможен также вариант, когда кроме минимального набора системных пакетов в образ ВМ устанавливается также необходимое прикладное ПО.

В силу открытости научных данных, так же как и публичной доступности алгоритмов и программ для операций над этими данными, проблемы несанкционированного доступа к ним на стороне внешнего поставщика облачных ресурсов не возникает, а значит, и отсутствует необходимость в шифровании образов ВМ.

Более низкая пропускная способность каналов связи между организациями-партнерами, интегрирующими свои облачные инфраструктуры, по сравнению с пропускной способностью локальной сети каждого из интегрируемых облаков не является критическим фактором, т. к. счетные виртуальные машины создаются из одного типового образа, который загружается в партнерское облако лишь один раз — до создания первой типовой ВМ. Как правило, необходимость внесения изменений в исходный типовой образ возникает редко. В силу специфики данных и алгоритмов их обработки и анализа в области физики высоких энергий отсутствует необходимость обмена информацией между виртуальными машинами во время вычислений.

Облако-провайдер обслуживает запросы на выделение ресурсов от локальных и внешних пользователей в соответствии со своей внутренней политикой и приоритетами, а также договоренностями между организациями-партнерами.

Платформа OpenNebula, на которой построен облачный сервис ОИЯИ, имеет встроенную поддержку технологии cloud bursting, однако она реализована только для некоторых популярных публичных (коммерческих) облачных сервисов (Amazon EC2, IBM SoftLayer [IBM SoftLayer: [сайт]. URL: [http://www.ibm.com/Cloud\\_Softlayer](http://www.ibm.com/Cloud_Softlayer)] и Microsoft Azure [Microsoft Azure: [сайт]. URL: <https://azure.microsoft.com>]). С целью объединения ресурсов организаций из стран-участниц ОИЯИ для решения совместных научно-исследовательских задач команда облачного сервиса ОИЯИ разработала драйвер<sup>1</sup> интеграции локальных (частных) облачных инфраструктур с использованием этой же технологии.

## Архитектура драйвера

На данный момент разработанный командой разработчиков облачного сервиса ОИЯИ драйвер для интеграции со сторонними облачными сервисами, также построенными на платформе OpenNebula, использует комбинацию интерфейсов OCCI (а точнее, его реализацию на языке ruby — rOCCI) и OpenNebula XML-RPC. Использование сразу двух различных интерфейсов в данной реализации обусловлено несколькими причинами: интерфейс OCCI поддерживается не только платформой OpenNebula, но также и другими платформами (например, OpenStack), в то время как XML-RPC поддерживается только платформой OpenNebula и не может быть использован для интеграции с другими платформами; с другой стороны, интерфейс OCCI не предоставляет функционала по мониторингу фактического использования ресурсов. Таким образом, интерфейс OCCI используется для управления ресурсами, а XML-RPC — как временное решение для реализации мониторинга. Если в стандарт OCCI в будущем будет включена поддержка мониторинга, от использования XML-RPC можно будет отказаться.

Типичная схема работы драйвера изображена на рис. 3 и состоит в следующем: rOCCI-сервер транслирует запросы XML-RPC в запросы OCCI и передает их через проксирующий веб-сервер (Apache или Nginx с Passenger). Использование проксирующего веб-сервера необходимо для установления безопасного соединения (https), так как протокол XML-RPC основан на языке XML и нуждается в шифровании. Ядро OpenNebula и rOCCI-сервер могут быть установлены как на одном сервере, так и на разных, в зависимости от нагрузки на сервера и требований безопасности. Также необходимо создать учетную запись пользователя в облаке-провайдере, от имени которого будут запущены виртуальные машины облака-клиента. Регулируя квоты на ресурсы этому пользователю, провайдер регулирует количество доступных ресурсов облаку-клиенту.

Добавленные в облако-клиент ресурсы облака-провайдера выглядят как отдельный сервер с количеством вычислительных ядер и объемом ОЗУ, равным установленным провайдером квотам. Администратор облака-клиента может добавить этот сервер-облако к одному из уже существующих облачных кластеров либо создать отдельный кластер<sup>2</sup>.

В качестве основных преимуществ данного подхода к интеграции можно перечислить следующие:

- более гибкое управление каждым облаком из-за отсутствия централизации;
- прозрачное для пользователей расширение ресурсов при интеграции новых облаков (облако-провайдер может быть добавлено администратором облака-клиента как еще один рабочий узел кластера, доступ к которому пользователи уже имеют);
- доступ к объединенным облачным ресурсам посредством прежних интерфейсов, бывших в распоряжении потребителей ресурсов до интеграции облаков.

<sup>1</sup> Драйвер — набор скриптов, осуществляющих управление сторонними ресурсами. Находящийся в публичном доступе исходный код платформы OpenNebula и ее лицензия позволяют разрабатывать собственные драйверы, необходимые для поддержки других облачных платформ и сервисов.

<sup>2</sup> Кластер — совокупность рабочих узлов облака, логически объединенных в группу по какому-то общему признаку (например, по установленному на серверах гипервизору). Возможность индивидуально устанавливать для каждого отдельного кластера различные настройки, включая конфигурацию сетевых ресурсов и хранилищ, позволяет оптимизировать использование облачных ресурсов для различных задач.



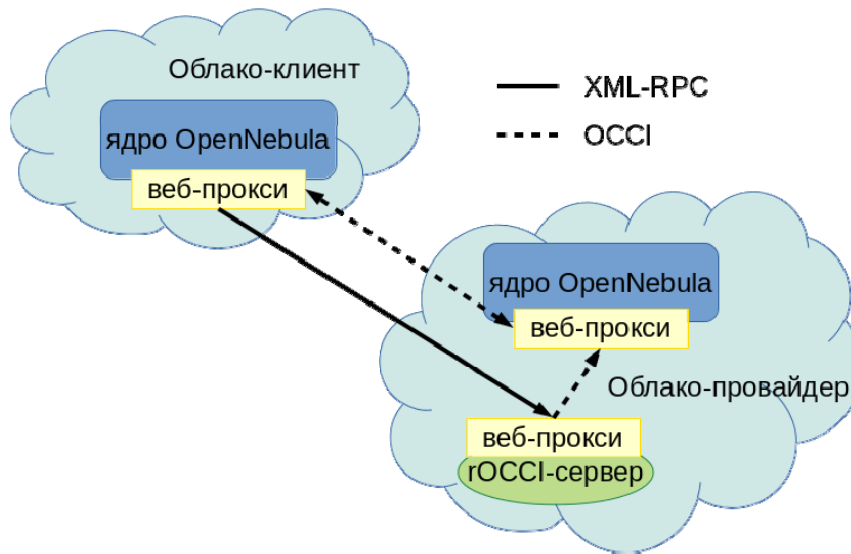


Рис. 3. Схема работы драйвера

### Использование драйвера

На данный момент с облаком ОИЯИ интегрированы ресурсы облачных инфраструктур Российского экономического университета имени Г. В. Плеханова (г. Москва, Россия), и Института физики (г. Баку, Азербайджан), также работающих на базе платформы OpenNebula, и Института теоретической физики имени Н. Н. Боголюбова НАН Украины (г. Киев, Украина), функционирующего на базе OpenStack, что потребовало доработки драйвера. Имеющиеся в облачных инфраструктурах организаций-партнеров ресурсы представлены в таблице 1.

В ближайшее время планируется завершить интеграцию облака ОИЯИ в федеративное облако ЕГИ.

Таблица 1. Ресурсы облачных инфраструктур организаций-партнеров

Название организации	Местоположение организации	Общее количество ядер ЦПУ, шт.	Общий объем ОЗУ, ГБ	Общий объем дискового пространства, ТБ
Объединенный институт ядерных исследований	г. Дубна, Московская область, Россия	200	400	16
Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова	г. Москва, Россия	48	128	14
Институт теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова	г. Киев, Украина	32	32	8
Институт физики	г. Баку, Азербайджан	24	256	16

### Заключение

Одной из современных тенденций в развитии систем для распределенных вычислений и хранения данных является объединение облачных инфраструктур, причем как частных между

собой, так и частных с коммерческими. Для создания транснациональной облачной инфраструктуры на базе ресурсов организаций стран-участниц ОИЯИ с целью предоставления современного инструмента ученым этих стран для его использования в решении актуальных научно-исследовательских задач командой из ОИЯИ был разработан драйвер, позволяющий прозрачным и удобным для потребителей облачных ресурсов образом наращивать общую мощность распределенной платформы путем интеграции частных облачных инфраструктур друг с другом. Дальнейшее развитие этой распределенной платформы предполагается за счет создания облаков в научных организациях Египта, Румынии, Монголии, Беларуси с их последующей интеграцией в распределенную облачную платформу.

## Список литературы (References)

- Amazon EC2. 2016 [Электронный ресурс]. URL: <https://aws.amazon.com/ec2/> (дата обращения: 15.01.2016).
- CDMI. 2016. URL: <http://www.snia.org/cdmi> (дата обращения: 15.01.2016).
- CloudStack. 2016 [Электронный ресурс]. URL: <https://cloudstack.apache.org> (дата обращения: 19.01.2016).
- Fernández-del-Castillo E., Scardacia D., López García A.* The EGI Federated Cloud e-Infrastructure // *Procedia Computer Science*, ISSN: 1877-0509, Publisher: Elsevier, 2015. — Vol. 68. — P. 196–205. doi: 10.1016/j.procs.2015.09.235.
- IBM SoftLayer. 2016 [Электронный ресурс]. URL: [http://www.ibm.com/Cloud\\_Softlayer](http://www.ibm.com/Cloud_Softlayer) (дата обращения: 19.01.2016).
- Lestaris G., Charalampidis I., Berzano D, Blomer J., Buncic P., Ganis G., and Meuse R.* CernVM Online and Cloud Gateway: a uniform interface for CernVM contextualization and deployment // *Journal of Physics: Conference Series* 513 (2014) 032055 doi:10.1088/1742-6596/513/3/032055
- McNab A., Love P., MacMahon E.* Managing virtual machines with Vac and Vcycle // *Journal of Physics: Conference Series*. — 2015. — Vol. 664. — 022031. doi:10.1088/1742-6596/664/2/022031.
- Microsoft Azure. 2016 [Электронный ресурс]. URL: <https://azure.microsoft.com> (дата обращения: 19.01.2016).
- Moreno-Vozmediano R., Montero R. S., Llorente I. M.* IaaS Cloud Architecture: From Virtualized Datacenters to Federated Cloud Infrastructures // *IEEE Computer*. — 2012. — Vol. 45. — P. 65–72.
- OCCI. 2016 [Электронный ресурс]. URL: <http://occi-wg.org> (дата обращения: 15.01.2016).
- OpenStack. 2016 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.openstack.org> (дата обращения: 19.01.2016).
- Rackspace. 2016 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.rackspace.com> (дата обращения: 15.01.2016).
- SixSq. 2016 [Электронный ресурс]. URL: <http://sixsq.com> (дата обращения: 19.01.2016).
- SlipStream. 2016 [Электронный ресурс]. URL: <http://sixsq.com/products/slipstream/> (дата обращения: 15.01.2016).
- StratusLab. 2016 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.stratuslab.eu> (дата обращения: 19.01.2016).
- «vCloud». 2016 [Электронный ресурс]. URL: <http://vcloud.vmware.com> (дата обращения: 19.01.2016).
- VMDIRAC. 2016 [Электронный ресурс]. URL: <https://github.com/DIRACGrid/VMDIRAC/wiki> (дата обращения: 20.01.2016).