

**СЕТЬ RUNNET: НАВСТРЕЧУ СОВРЕМЕННЫМ ВЫЗОВАМ СФЕРЫ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ**

**NETWORK RUNNET: TOWARDS THE ACTUAL CHALLENGES
OF TELECOMMUNICATIONS SPHERE IN SCIENCE AND EDUCATION**

Абрамов Алексей Геннадьевич / Alexey G. Abramov,
к.ф.-м.н., заместитель директора Филиала ФГАУ «Государственный
научно-исследовательский институт информационных технологий
и телекоммуникаций» в г. Санкт-Петербурге / Deputy director of St.-Petersburg
branch of Federal State Autonomous Institution «State research
Institute of information technologies and telecommunications»,
abramov@runnet.ru

Евсеев Антон Владимирович / Anton V. Evseev,
директор Филиала ФГАУ «Государственный научно-исследовательский
институт информационных технологий и телекоммуникаций»
в г. Санкт-Петербурге / Director of St.-Petersburg branch of Federal State Autonomous
Institution «State research Institute of information technologies and telecommunications»,
evseev@runnet.ru

Аннотация

В статье затронуты вопросы обеспечения текущего функционирования и перспективы развития Федеральной университетской компьютерной сети России RUNNet как основы телекоммуникационной инфраструктуры единой научно-образовательной информационной среды сферы образования и науки. Представляются ключевые направления деятельности и проекты по модернизации сети, дается характеристика телекоммуникационной инфраструктуры, включая опорную инфраструктуру и инфраструктуру доступа, рассматриваются особенности организации связности сети RUNNet с европейскими и мировыми научно-образовательными сетями, аспекты апробации и внедрения в сети современных информационно-коммуникационных технологий и сервисов. Обсуждаются основные задачи, решаемые на уровне национальных научно-образовательных телекоммуникационных сетей, приводятся примеры крупных проектов, реализуемых при широкой международной кооперации и использующих распределенные высокопроизводительные вычислительные ресурсы.

Abstract

In the paper the issues of current state and prospects for the development of the Federal university network RUNNet of Russia, as the basis of a unified telecommunications infrastructure of scientific and educational information environment in the sphere of education and science, are discussed. Key activities and projects for modernization of the network, the characteristic of the telecommunications infrastructure, including the backbone infrastructure and infrastructure of the access, the features of the organization of connectivity of RUNNet with European and international scientific and educational networks, aspects of the testing and implementation of up-to-date information and communication technologies and services in the network are presented. The main problems which are solved at the level of the national research and education networks, the examples of the major projects implemented with wide international cooperation and using distributed high-performance computing resources are discussed.

Ключевые слова: университетская сеть RUNNet, телекоммуникационная инфраструктура, сетевые сервисы,

NREN, DWDM, 3R, VoIP, облачные вычисления.

Keywords: university network RUNNet, telecommunications infrastructure, network services, NREN, DWDM, 3R, VoIP, cloud computing.

Введение

Наличие собственной высокоскоростной телекоммуникационной инфраструктуры, используемой в интересах науки и образования внутри страны и обеспечивающей доступ в мировое информационно-телекоммуникационное пространство, связность с ведущими международными научно-образовательными сетями и консорциумами, является важной характеристикой общего уровня экономического и технологического развития государства, а также стратегически необходимым условием для стабильного прогресса в различных областях науки и технологий.

Большинство развитых стран целенаправленно поддерживают и совершенствуют собственные национальные научно-образовательные телекоммуникационные сети (англ. – National Research and Education Network, NREN), которые нацелены на решение указанных и ряда сопутствующих задач, а также представляют свою страну в крупных международных проектах в области науки и образования.

Федеральным государственным автономным учреждением «Государственный научно-исследовательский институт информационных технологий и телекоммуникаций» (ФГАУ ГНИИ ИТТ «Информика») при поддержке Минобрнауки России в 1994 году была создана и с тех пор динамично развивается крупнейшая научно-образовательная сеть России RUNNet (Russian University Network).

Сегодня RUNNet имеет точки присутствия во всех федеральных округах, предоставляя свои телекоммуникационные услуги нескольким сотням организаций высшего и профессионального образования, научно-исследовательским ор-

ганизациям, региональным научно-образовательным сетям, учреждениям культуры и здравоохранения. Целевые пользователи сети – это ведущие государственные вузы Москвы и Санкт-Петербурга, федеральные, национальные исследовательские и опорные университеты, крупные классические, технические, педагогические и отраслевые вузы страны.

В данной обзорной статье обсуждаются современное состояние телекоммуникационной инфраструктуры сети RUNNet и реализуемые проекты по ее модернизации как внутри Российской Федерации, так и на международных направлениях, приводится информация об апробации и внедрении на базе RUNNet перспективных информационных и телекоммуникационных технологий и сервисов.

1. Сеть RUNNet: история и современность

Федеральная университетская компьютерная сеть RUNNet изначально организовывалась с целью принятия конкретных практических мер по формированию единого информационного пространства сферы образования и науки России на основе отраслевой сетевой инфраструктуры для повышения эффективности управления, обеспечения информационного взаимодействия между образовательными и научными организациями при осуществлении ими основной деятельности [1].

Сеть RUNNet была организована более 20 лет назад, на заре развития Интернета в России, как отклик на идею ряда энтузиастов из образовательной среды о создании сети масштаба страны путем интеграции региональных научно-образовательных сетей и сетей крупных вузов и научно-исследовательских организаций [2].

В комплексе работ по созданию и развитию сети RUNNet на разных этапах участвовали десятки вузов и научных организаций из многих регионов России. Работы проводились при последовательной государственной поддержке, в том

числе в рамках государственной научной программы «Университеты России», программы «Информационные сети высшей школы», межведомственной программы «Создание национальной сети компьютерных телекоммуникаций для науки и высшей школы», федеральных целевых программ, государственных контрактов и программ Минобрнауки России.

В последние несколько лет соответствующие работы выполняются в рамках утверждаемого Минобрнауки России государственного задания ФГАУ ГНИИ ИТТ «Информика» по теме «Развитие и обеспечение функционирования Федеральной университетской компьютерной сети RUNNet».

Административное, технологическое и научно-методическое управление сетью RUNNet осуществляется ФГАУ ГНИИ ИТТ «Информика» как ведущей организацией Минобрнауки России, отвечающей за комплексное исследование и развитие информационных технологий и телекоммуникаций в сфере образования, научной, научно-технической и инновационной деятельности. Центр управления сетью (Network Operations Center, NOC) функционирует на базе филиала ФГАУ ГНИИ ИТТ «Информика» в г. Санкт-Петербург.

Сегодня RUNNet представляет собой опорную сеть национального уровня, обладающую протяженной высокоскоростной магистральной инфраструктурой и международными каналами, обеспечивающими интеграцию с зарубежными научно-образовательными сетями. RUNNet целенаправленно и успешно решает поставленные перед ней задачи, среди которых следует выделить:

- обеспечение телекоммуникационной связности федеральных и региональных органов управления образованием;
- обеспечение телекоммуникационной связности образовательных организаций разного уровня, научных организаций, региональных научно-образовательных телекоммуникационных сетей;

- обеспечение телекоммуникационной связности сети RUNNet с телекоммуникационными сетями Российской академии наук, отраслевыми телекоммуникационными сетями других ведомств и др.;

- обеспечение телекоммуникационной связности сети RUNNet с международными научно-образовательными сетями;

- обеспечение гарантированного качества и высокой надежности доступа к информационным научно-образовательным ресурсам и сервисам;

- обеспечение выполнения требований действующего российского законодательства в области информационных технологий и телекоммуникаций;

- участие в апробации, тестировании и внедрении новых перспективных информационно-коммуникационных технологий и сервисов.

- Сеть RUNNet также способствует эффективному решению традиционных для глобальных научно-образовательных сетей задач, а именно:

- обеспечение доступа к электронным образовательным ресурсам (ЭОР) и научно-образовательным ресурсам (*e-Learning*);

- развитие и обеспечение функционирования современных и широко востребованных технологий дистанционного обучения;

- доступ к электронным библиотекам и хранилищам больших объемов данных научного и образовательного характера;

- обеспечение доступа к суперкомпьютерам вузов и научных центров, предоставление инфраструктуры для организации распределенных вычислений, хранения и передачи больших объемов данных (*e-Science*);

- обеспечение проведения научных исследований с применением ИТ-технологий (удаленный «облачный» совместный доступ к уникальным научным и лабораторным установкам, доро-

гостящему программному обеспечению);

– обеспечение управления в образовательных и научных организациях (доступ к автоматизированным информационным системам федерального и регионального уровней, работа систем электронного документооборота, защита и интеграция данных и др.);

– обеспечение возможностей сетевого взаимодействия кампусов вузов, мобильности студентов и преподавателей (федеративная авторизация и аутентификация и предоставление научных и образовательных сервисов).

ФГАУ ГНИИ ИТТ «Информика» на протяжении 10 лет ежегодно проводит семинары-совещания по развитию и повышению эффективности функционирования сети RUNNet. Совещания проходят в различных регионах на базе вузов, в которых расположены крупные узлы сети. В совещаниях традиционно принимают участие представители администрации вузов, руководители и технический персонал узлов сети, представители компаний – национальных телекоммуникационных операторов, системных интеграторов, производителей телекоммуникационного оборудования и программного обеспечения. На совещаниях обсуждаются вопросы развития и обеспечения

функционирования опорной инфраструктуры RUNNet и инфраструктуры доступа в регионах, расширения взаимодействия с международными научно-образовательными сетями, технологического развития сети, внедрения новых сетевых сервисов, подготовки и повышения квалификации технического персонала. Материалы совещаний размещаются в открытом доступе на информационном сайте сети RUNNet (<http://www.runnet.ru>).

2. Телекоммуникационная инфраструктура сети RUNNet

2.1. Современное состояние телекоммуникационной инфраструктуры RUNNet

Сеть RUNNet анонсирует во внешний мир более полутора тысяч префиксов, а суммарное количество пользователей сети по независимым экспертным оценкам составляет около пяти миллионов человек. Подобные показатели позволяют RUNNet являться не только самой большой научно-образовательной сетью России, но и входить в число крупнейших компьютерных сетей страны и мира [3].

Актуальные схемы высокоуровневой сетевой архитектуры (High-level network architecture) и опорной инфраструктуры сети RUNNet показаны на рисунках 1 и 2, соответственно.

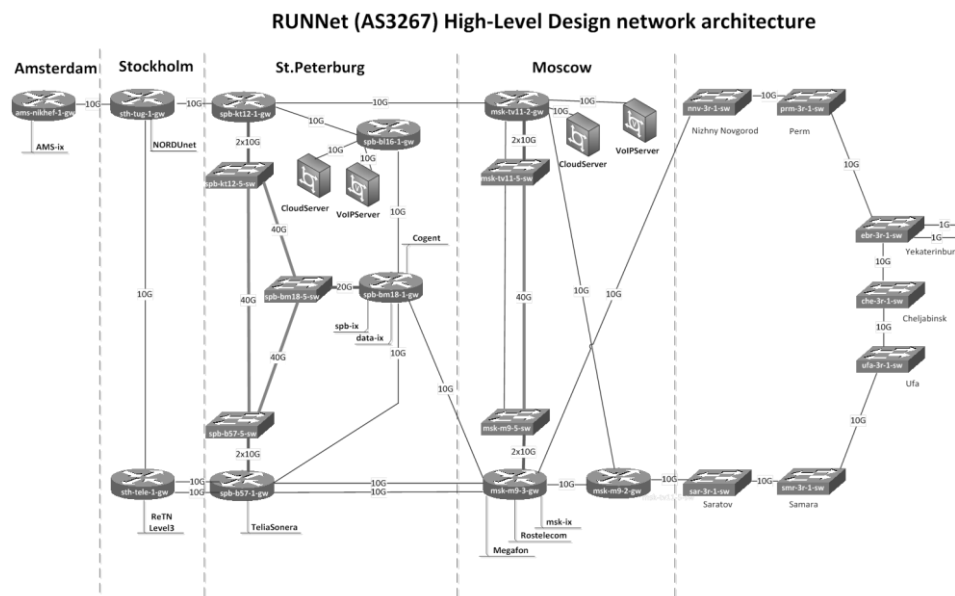


Рис. 1. Схема высокоуровневой сетевой архитектуры RUNNet



Рис. 2. Схема опорной инфраструктуры сети RUNNet

В состав опорной инфраструктуры сети RUNNet внутри России входят федеральные узлы в городах Москва, Санкт-Петербург, Владивосток, Екатеринбург, Нижний Новгород, Новосибирск, Ростов-на-Дону, Самара, Саратов, Пермь, Уфа, Хабаровск, Челябинск, а также региональные узлы в ведущих классических и технических государственных университетах страны [4]. Телекоммуникационные узлы сети RUNNet рассредоточены по 56 регионам России. Внутророссийская магистральная связность преимущественно обеспечивается цифровыми каналами, арендуемыми у крупных каналных операторов. Протяженность собственных волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) в России составляет более 300 км.

Наиболее развитые региональные сегменты сети расположены в городах федерального значения – Москве и Санкт-Петербурге, где к RUNNet подключено большинство государственных вузов, региональные научно-образовательные сети, а также десятки учреждений науки, культуры и здравоохранения [5].

В Москве базовые узлы сети RUNNet размещены на площадках крупных телекоммуникационных узлов (М-9,

М-10, ЦТ и др.). Пользователями сети в Москве являются ведущие вузы, такие как МГУ им. М.В. Ломоносова, МГТУ им. Н.Э. Баумана, МФТИ, НИЯУ «МИФИ», НИУ «МЭИ», МАИ (НИУ), НИУ «МИСиС», МГУ, МГТУ «Станкин», МАДИ, НИУ ВШЭ, РЭУ им. Г.В. Плеханова, РУДН, МИИГАиК, МАТИ, РНИМУ им. Н.И. Пирогова, Первый МГМУ им. И.М. Сеченова и др. Пропускная способность опорной инфраструктуры RUNNet в Москве составляет 10 Гбит/с. Подключение вузов осуществляется, как правило, каналами с пропускной способностью 10 или 1 Гбит/с.

В Санкт-Петербурге в настоящее время функционируют девять базовых узлов опорной сети и несколько десятков узлов доступа, расположенных, преимущественно, в вузах и научно-исследовательских организациях города. Транспортная сеть построена на базе ВОЛС, передача данных по которым осуществляется с производительностью 10 или 1 Гбит/с. В Санкт-Петербурге к RUNNet подключено большинство государственных организаций высшего образования (СПбПУ, НМСУ «Горный», Университет ИТМО, СПбГЭТУ «ЛЭТИ», РГПУ им. А.И. Герцена, ПСПбМУ, СПбГЭУ, ГУАП, РГГМУ, СПбГИК,

СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича и др.), несколько десятков учреждений науки, культуры и здравоохранения, региональные научно-образовательные сети РОКСОН и RUSnet. К базовым узлам RUNNet в Санкт-Петербурге подключены региональные научно-образовательные сети Новгородской области и Республики Карелия.

Среди подключенных к сети RUNNet крупных государственных вузов из других российских регионов можно выделить федеральные университеты – Балтийский (г. Калининград), Северо-Кавказский (г. Ставрополь), Уральский (г. Екатеринбург) и Южный (г. Ростов-на-Дону), национальные исследовательские университеты – Мордовский (г. Саранск), Нижегородский, Пермский, Пермский политехнический, Самарский аэрокосмический, Саратовский, Томский, Южно-Уральский (г. Челябинск) и др.

RUNNet обеспечивает связность научных и университетских кампусов страны, ресурсных центров сферы образования и науки друг с другом, а также с российскими научно-образовательными сетями федерального и регионального уровней (RBNet, RASNet, RUHEP, RSSI).

Связанность RUNNet с мировым информационно-телекоммуникационным пространством в области образования и науки (рис. 3) реализуется высокоскоростными каналами по направлениям Москва – Санкт-Петербург – Стокгольм – Амстердам и Москва – Санкт-Петербург – Хельсинки – Стокгольм (суммарная емкость каналов составляет 30 Гбит/с).

Международные узлы RUNNet расположены на площадках научно-образовательной сети стран Северной Европы (NORDUnet, г. Стокгольм), Национального института ядерной физики и физики высоких энергий (The National Institute for Nuclear Physics and High Energy Physics, NIKHEF, г. Амстердам) и Суперкомпьютерного центра Финляндии (IT Center for Science, CSC, г. Хельсинки).

Сеть RUNNet участвует в обмене IP-трафиком с целым рядом крупных

российских и зарубежных сетей. Площадки подключения RUNNet к точкам обмена IP-трафиком внутри страны расположены в Москве (MSK-IX, 10 Гбит/с), Санкт-Петербурге (SPB-IX, 10 Гбит/с) и Новосибирске (NSK-IX, 1 Гбит/с), а за рубежом – в Амстердаме (AMS-IX, 10 Гбит/с).

2.2. Проекты по совершенствованию телекоммуникационной инфраструктуры сети RUNNet на базе технологий DWDM

Анализ технологий, применяемых в ведущих зарубежных научно-образовательных сетях, указывает на то, что большинство из них основано на общем научно-техническом заделе и единой технологической платформе, основу которой составляют являющиеся международными стандартами группы технологий и протоколов [3]. Такие технологии и протоколы предполагают использование унифицированных методов и аппаратно-программных решений в рамках концепции открытых систем и обладают необходимыми свойствами модульности, масштабируемости и переносимости.

При эксплуатации протяженных ВОЛС на опорной инфраструктуре научно-образовательных сетей в экономически развитых странах в настоящее время широко применяется технология уплотненного мультиплексирования с разделением по длине волны (Dense Wave-length Division Multiplexing, DWDM) [3, 6].

Как известно, технология DWDM основана на спектральном (частотном) уплотнении в пределах одного оптического волокна нескольких десятков оптических сигналов, передаваемых на разных длинах волн [7]. Оборудование DWDM используется преимущественно для совершенствования существующих ВОЛС посредством существенного повышения их пропускной способности и доступности. DWDM позволяет существенно повысить потенциально достижимую информационную емкость оптических магистралей, но при этом требует применения специальных технических методов, исключающих взаимное влия-

ние сигналов с близкими длинами волн, а также наличия на протяжении линии связи промежуточных оптических узлов. В настоящее время стандартными значениями пропускной способности на одной длине волны являются 10 Гбит/с, 40 Гбит/с и 100 Гбит/с. В стадии апробации и тестирования находятся емкости 400 Гбит/с, 1 Тбит/с и выше.

Работы по внедрению технологии DWDM на магистральной инфраструктуре сети RUNNet были инициированы в конце 2000-х гг. Первым в нашей стране собственным сегментом опорной инфраструктуры научно-образовательных сетей, на котором реализована и функционирует технология DWDM, является участок сети RUNNet на направлении Санкт-Петербург – Хельсинки [6, 8]. Система развернута с использованием оборудования Common Photonic Layer (CPL) и OME 6500 производства компании Nortel.

На протяжении ВОЛС между Санкт-Петербургом и Хельсинки (на расстоянии 550 км) развернуты семь узлов связи, два из которых (в конечных городах маршрута) являются узлами доступа и позволяют осуществлять выделение оп-

тических «лямбда»-каналов. Посредством DWDM инфраструктуры сети NORdUnet международные каналы RUNNet продлеваются до Стокгольма и Амстердама (рис. 3). В настоящее время максимально достижимая скорость передачи трафика при возможности организации до 88 каналов на разной длине волны и использовании транспондеров с пропускной способностью 100 Гбит/с составляет 8800 Гбит/с.

В середине 2010-х гг. в сети RUNNet был проведен комплекс работ по реализации проекта 3R (RUNNet Russian Ring). В европейской части России создали сетевую инфраструктуру, которая представляет собой транспортное «кольцо», охватывающее и соединяющее между собой города Москву, Нижний Новгород, Пермь, Екатеринбург, Челябинск, Уфу, Самару и Саратов (рис. 4). В этих городах размещено современное оборудование передачи данных для замыкания «кольца» и организации связности с сетями расположенных в них вузов и научных организаций. Пропускная способность каналов связи между городами составляет 10 Гбит/с.



Рис. 3. Международная связанность сети RUNNet, включая DWDM-сегмент на участке Санкт-Петербург – Хельсинки



Рис. 4. Топологическая схема проекта 3R (RUNNet Russian Ring)

Инфраструктура кольца организована на базе технологии DWDM с использованием арендованных «лямбда»-каналов. Топологически кольцо можно условно поделить на «южную» и «северную» части, доступ в сеть RUNNet и транзит в глобальный Интернет в нем осуществляется через узлы сети в Москве, имеется также связность с узлом в Новосибирске.

В число основных участников и партнеров RUNNet в проекте 3R вошли ведущие вузы из соответствующих регионов: Нижегородской (ННГУ им. Н.В. Лобачевского), Самарской (СамГУ, СамГТУ, СГАУ им. акад. С.П. Королева), Саратовской (СГУ им. Н.Г. Чернышевского, СГТУ, ССЭИ), Свердловской (УрФУ), Челябинской (ЮУрГУ) областей, Пермского края (ПГНИУ, ПНИПУ), Республики Башкортостан (УГАТУ).

Реализация проекта предоставила возможность подключить к сети RUNNet новые научные и образовательные организации и/или полностью отказаться от существующих каналов малой пропускной способности в нескольких организациях.

2.3. Мониторинг и управление сетью RUNNet

На сайте Центра управления сети RUNNet (<http://noc.runnet.ru>) поддерживается актуальная база данных о пользователях, предоставляется доступ к служебной информации и к сервисам для технического и административного персонала сети, включая мониторинг работы сети, статистику загрузки каналов и другие необходимые сведения (рис. 5).

Мониторинг и контроль состояния сетевых устройств и каналов связи осуществляется с помощью открытой программной платформы Sacti, отвечающей за сбор и анализ статистических данных по сетевому трафику и постоянный опрос доступности устройств (рис. 6).

2.4. Обзор сервисов сети RUNNet

В сети RUNNet реализован и функционирует целый ряд перспективных и широко востребованных информационных ресурсов и сервисов для сферы образования и науки, в числе которых необходимо отметить:

- сервисы корпоративной и межвузовской IP-телефонии;
- облачные приложения и сервисы на основе открытой программной платформы OpenStack;
- сервис ограничения досту-

па к запрещенным российским законодательством веб-ресурсам;

- открытые сервисы видеоконференций (вебинаров);
- традиционные Интернет-сервисы для образовательных организаций (DNS, электронная почта, хостинг сайтов и др.);
- образовательные порталы и базы данных с доступом из сети RUNNet.

Проект по развертыванию и совершенствованию системы корпоративной и межвузовской IP-телефонии стартовал в сети RUNNet в 2012 году [9]. VoIP-сервис базируется на известном программном решении с открытым исходным кодом Asterisk, которое установлено на серверах, работающих под управлением операционной системы CentOS.

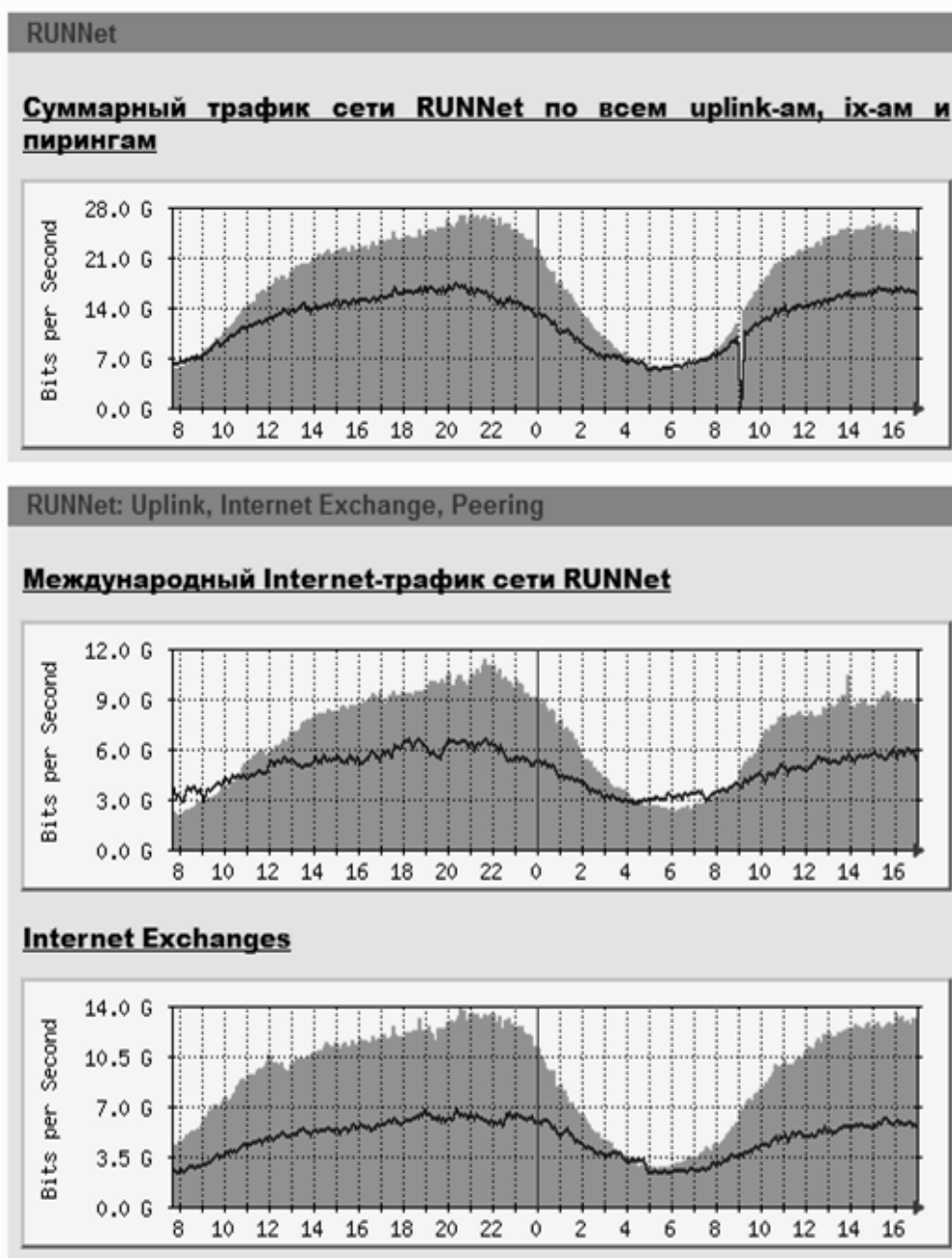


Рис. 5. Типичные картины сетевого трафика в RUNNet на сайте Центра управления сети

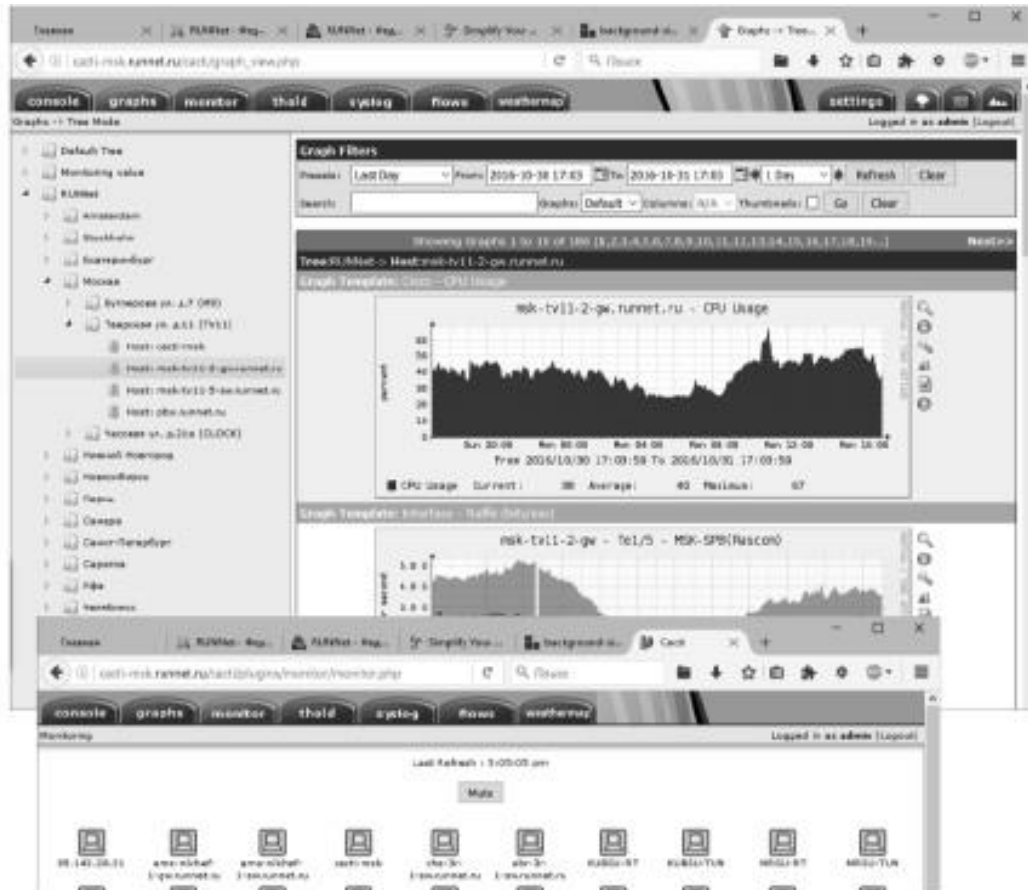


Рис. 6. Мониторинг и контроль сети RUNNet в пакете Cacti

Пользователи IP-телефонии могут совершать тарифицируемые внешние вызовы в телефонные сети общего пользования и использовать дополнительный функционал корпоративной IP-АТС, в том числе, видео-звонки, аудио- и видео-конференции, голосовую почту, различные виды перевода звонков, перехват и удержание вызовов и др. Вызовы могут совершаться как со стационарных аппаратов, так и с мобильных устройств с использованием специализированных программ-клиентов.

База абонентов VoIP-сети в настоящее время превышает 500 человек, в числе которых сотрудники Минобрнауки России, ФГАУ ГНИИ ИТТ «Информика», а также подключенных к сети вузов. Внутренние вызовы между абонентами сети совершаются по коротким четырехзначным номерам и не тарифицируются. Сотрудниками сети RUNNet разработана и используется собственная система мониторинга и подсчета использования ре-

сурсов IP-телефонии.

В течение последних лет ФГАУ ГНИИ ИТТ «Информика» реализует проект по широкой апробации и эксплуатации собственной инфраструктуры облачных вычислений [9, 10]. Облачный полигон базируется на динамично и весьма успешно развивающемся программном обеспечении с открытым исходным кодом OpenStack [11], которое представляет собой многофункциональную облачную платформу в виде комплекса («стека») технологических проектов, ориентированную на создание вычислительных облаков и облачных хранилищ данных частного и публичного уровней.

В результате проведенных в 2015 году работ по модернизации аппаратно-программного комплекса облачной инфраструктуры RUNNet и реализации пилотного проекта по интеграции вычислительных ресурсов ФГАУ ГНИИ ИТТ «Информика» полигон стал включать в себя уже 12 серверных узлов с суммар-

ной пиковой производительностью около 3 TFlops. В «облаке» RUNNet сегодня работает несколько десятков виртуальных машин, ориентированных, в том числе, на обеспечение работоспособности сервисов сети RUNNet – DNS (хранение зон, резолвинг), хостинг образовательных веб-сайтов, сервис проверки электронной почты на спам и вирусы, поддержка служб IP-телефонии, блокировку запрещенного веб-контента, сервис видеоконференций, сервисы сбора и обработки сетевой статистики, мониторинга работы сети и сервисов и др.

Использование различных вариаций облачных сервисов представляется весьма актуальным и перспективным применительно к решению самого широкого круга задач – от виртуализации инфраструктуры (IaaS) до предоставления «в аренду» программного обеспечения (SaaS).

Развитые облачные платформы позволяют образовательным и научным организациям:

- обеспечить надежное хранение и эффективную работу с большими объемами данных;
- получать доступ к дополнительным вычислительным мощностям и дорогостоящему программному обеспечению научно-образовательной направленности;
- развернуть в облаке системы дистанционного обучения, системы управления учебным процессом;
- организовать удаленный доступ преподавателей, учащихся и научным сотрудникам к создаваемым по запросу виртуальным машинам для выполнения лабораторных практикумов, выполнения научных вычислений и др.

В ряду возможных направлений дальнейшего развития проекта, расширения сотрудничества с российскими вузами и другими заинтересованными организациями можно отметить следующее:

1) совместное тестирование и эксплуатация современных решений технологий облачных вычислений и распределенного хранения больших объемов

данных, основанных на открытом программном обеспечении;

2) интеграция вычислительных ресурсов и хранилищ данных, аккумулярованных в вузах, на основе облачных платформ и с использованием инфраструктурных возможностей сети RUNNet;

3) массовое практическое использование облачных сервисов и технологий в учебном процессе и научных исследованиях, в том числе, в дистанционном обучении, автоматизации управления вузом, для предоставления доступа к дорогостоящему программному обеспечению по запросу, при решении «больших» вычислительных задач и др.

С более обстоятельной информацией о проекте облачной платформы можно ознакомиться в работе [10].

Федеральным законодательством установлены и постоянно ужесточаются требования по ограничению доступа пользователей к ресурсам сети Интернет экстремистского содержания, причиняющих вред здоровью и развитию детей, нарушающих интеллектуальные права. Два независимых списка таких ресурсов ведут Роскомнадзор <http://eais.rkn.gov.ru> и Минюст России <http://www.minjust.ru/nko/fedspisok?theme=minjust>.

Блокировка доступа к веб-ресурсам в сети RUNNet производится на основании собственного программно-аппаратного решения по URL ресурсов, включенных в списки запрещенных (в настоящее время – уже более 40000 ресурсов). Данный сервис распространяется «по умолчанию» на всех пользователей RUNNet без необходимости выполнения дополнительных настроек аппаратного и программного обеспечения.

В качестве анализатора сетевого трафика используется широко известный программный пакет Squid, функционирующий в режиме прозрачного прокси-сервера (transparent proxy) на выделенной высокопроизводительной виртуальной Linux-машине. Магистральные маршрутизаторы перенаправляют на эту машину

все IP-пакеты, имеющие в качестве адреса назначения IP-адрес запрещенного ресурса. Squid выполняет проверку запрашиваемых URL и/или доменных имен на предмет присутствия в списках запрещенных ресурсов, и при попытке обращения к заблокированному ресурсу в браузере отображается веб-страница с предупреждением о блокировке доступа.

Для перехвата и анализа содержимого зашифрованных https-сеансов применяется специальный режим пакета Squid (SSLBump) с динамической генерацией сертификатов. При поступлении перехватываемого https-запроса Squid осуществляет SSL-соединение с веб-сервером, откуда пользователем запрашивается веб-страница, и получает его сертификат. После этого Squid использует имя хоста из реального сертификата, полученного от сервера, и создает фиктивный сертификат, при помощи которого имитирует запрошенный сервер при взаимодействии с клиентом, продолжая при этом использовать SSL-соединение, установленное с сервером. По сути, в таких случаях реализуется MITM-атака, однако иные методы проверки зашифрованного трафика на предмет наличия запрещенного контента на данный момент отсутствуют.

Следует заметить, что оперативный мониторинг серверного оборудования и отслеживание состояния сетевых сервисов RUNNet с информированием администраторов об инцидентах реализуется на основе развернутой и специальным образом настроенной открытой системы Zabbix.

3. Актуальные проекты и ключевые направления развития сети RUNNet

В качестве ключевых проектов и направлений развития RUNNet как базовой научно-образовательной сети России необходимо выделить следующие:

- развитие опорной и магистральной инфраструктуры в соответствии с современными требованиями к пропускной способности каналов связи;
- развитие российского сегмента сети RUNNet;

- участие в ведущих научно-образовательных и телекоммуникационных проектах в России и за рубежом;

- расширение взаимодействия с международными научно-образовательными сетями;

- продвижение перспективных решений в области информационных технологий и телекоммуникаций.

Остановимся теперь более подробно на некоторых из перечисленных выше направлений.

Общеизвестно, что в настоящее время наиболее масштабные инновационные проекты реализуются при широкой международной кооперации, участии научных и образовательных организаций из многих стран. Среди приоритетных областей, в которых выполняются такие проекты – ядерная физика, биотехнологии, астрофизика, геофизика, метеорология, телемедицина и ряд других.

В ходе реализации проектов порождаются сверхбольшие объемы данных (Big Data), требующие оперативного анализа и обработки участниками проектов в распределенном режиме с применением средств телекоммуникаций. При этом предъявляются повышенные требования к емкости каналов связи, которые используются для доставки данных в университетские и научные центры, где осуществляется их обработка на распределенных суперкомпьютерных мощностях.

Такие масштабные задачи, как с точки зрения технологических, так и в организационно-экономических аспектов, могут успешно решаться только во взаимодействии NREN стран – участников проектов. Можно отметить здесь, что в ряде европейских стран с наиболее развитыми NREN пропускная способность опорной инфраструктуры сети уже превышает 100 Гбит/с. Это позволяет эффективно использовать сетевые ресурсы и сервисы в интересах образования и науки как внутри страны, так и для международной коллаборации.

Ведущие российские образовательные и научные центры обладают не-

обходимым потенциалом и ресурсами для широкого вовлечения в международные научно-исследовательские проекты. Вполне очевидно, что без этого невозможно успешно развиваться и соответствовать уровню мировых достижений в науке и технологиях. Следует подчеркнуть, что и зарубежные научно-образовательные организации и консорциумы со своей стороны весьма заинтересованы в сотрудничестве с российскими по различным направлениям, требующим применения современных средств и технологий телекоммуникаций.

RUNNet сегодня предоставляет имеющиеся в распоряжении инфраструктурные ресурсы и сервисы для такого взаимовыгодного международного сотрудничества, обеспечивая возможности интеграции России в мировое научно-образовательное пространство.

Таким образом, особая роль в планах работ отводится решению задач, нацеленных на дальнейшее расширение взаимодействия с международными научно-образовательными сетями, в том числе:

- подготовка и организация присоединений сети RUNNet к крупным международным проектам в области физики высоких энергий (LHCONE, ESnet и др.);

- организация прямых пиринговых стыков с международными научно-образовательными сетями (NREN), организация присутствия сети RUNNet на международных точках обмена трафиком таких сетей;

- организация прямого стыка с крупнейшей мировой ассоциацией научно-образовательных сетей GÉANT для получения российскими пользователями доступа к ее электронным научным и образовательным ресурсам и сервисам;

- расширение сотрудничества с научно-образовательными сетями в рамках СНГ и ЕврАзЭС.

Постоянно растущие требования, предъявляемые научно-образовательным сообществом к телекоммуникационной инфраструктуре, обуславливают необхо-

димость существенного увеличения скоростей передачи информации с приведением их характеристик в соответствие современному мировому уровню развития NREN. Это требует реализации комплекса мероприятий по развитию опорной и магистральной инфраструктуры сети RUNNet.

В перспективе ожидается, что соответствующие работы с учетом имеющейся «дорожной карты» развития RUNNet на ближайшие годы будут включать:

- дальнейшее развитие DWDM-сегмента опорной сети на направлении Санкт-Петербург – Хельсинки – Стокгольм – Амстердам;

- создание собственного DWDM-сегмента опорной сети на направлении Москва – Санкт-Петербург;

- повышение уровня связности сети, расширение емкости международных магистральных каналов, оптимизация обмена трафиком с международными научно-образовательными сетями;

- поэтапную замену магистрального сетевого оборудования на маршрутизаторы семейства Juniper MX480.

В рамках направления по развитию российского сегмента сети RUNNet планируется расширение географического присутствия с подключением к сети новых организаций науки и образования, увеличение пропускной способности опорной инфраструктуры, скоростей подключения пользователей, сети увеличение емкости магистральной сети в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке.

Актуальной задачей является развертывание собственной DWDM инфраструктуры на высоко загруженном внутрироссийском направлении Москва – Санкт-Петербург. В настоящее время связность крупнейших городов страны обеспечивается четырьмя оптическими каналами суммарной емкостью 40 Гбит/с, арендуемыми у ведущих телекоммуникационных операторов. Постоянный рост объемов сетевого трафика обуславливает необходимость модернизации транспорт-

ной сети при существенном увеличении ее производительности.

В ряду других перспективных задач и проектов, предполагаемых к реализации на базе сети RUNNet, следует отметить:

1) участие в проекте «Национальная суперкомпьютерная инфраструктура» в качестве магистрального оператора связи для обеспечения высокоскоростной связности вычислительных ресурсов организаций науки и образования, а также отраслевых предприятий;

2) участие в проектах Федеративной авторизации и аутентификации для распределенного повсеместного доступа к образовательным ресурсам и сервисам (проекты eduoam, eduGAIN и др.);

3) дальнейшее развитие и модернизацию перспективных технологий и сервисов облачных вычислений, VoIP-телефонии.

В планах работ по участию в реализации федерального проекта «Национальная суперкомпьютерная инфраструктура» ожидается, что ФГАУ ГНИИ ИТТ «Информика» выступит в роли центра коллективного пользования инфраструктурой доступа к суперкомпьютерным ресурсам, агрегированным в ведущих вузах и научных центрах России.

В актуальной редакции списка Top-50 наиболее мощных суперкомпьютеров СНГ (<http://top50.supercomputers.ru>) 23 системы установлены в научных и образовательных организациях России, из них 7 входят в мировой список Top-500 (<http://top500.org>), в том числе, в МГУ им. М.В. Ломоносова, СПбПУ Петра Великого, ННГУ им. Н.И. Лобачевского. Большая часть этих систем подключена к инфраструктуре сети RUNNet.

Одной из проблем на пути дальнейшего развития, совершенствования и эффективного использования средств и технологий высокопроизводительных вычислений является текущая степень загруженности суперкомпьютерных мощностей в России: на сегодняшний день в нашей стране отсутствует централизованная система менеджмента, наце-

ленная на оптимизацию использования и повышения уровня вычислительной загрузки суперкомпьютеров. Именно поэтому дорогостоящее оборудование значимую часть времени может «простаивать», а ученые и исследователи без доступа к производительным компьютерным мощностям лишаются возможности использовать их для проведения актуальных исследований.

В рамках проекта на базе ФГАУ ГНИИ ИТТ «Информика» предполагается создать Центр коллективного пользования (ЦКП) суперкомпьютерной инфраструктурой, в рамках которого будет разработана и внедрена система менеджмента использования мощных суперкомпьютеров, установленных в российских научных и образовательных организациях.

Среди ожидаемых преимуществ от реализации проекта и функционирования ЦКП следующие:

– повышение эффективности использования вычислительных ресурсов российских суперкомпьютеров;

– повышение уровня осведомленности ученых и исследователей России о наличии возможностей по применению суперкомпьютерных технологий и ресурсов, привлечение в отрасль новых специалистов;

– новые возможности перспективного сотрудничества с ведущими мировыми научными центрами за счет наличия доступной и развитой инфраструктуры;

– повышение уровня «культуры» сетевого взаимодействия ученых и исследователей России.

Еще одним потенциально перспективным направлением развития сети RUNNet является реализация проекта по развертыванию единой системы аутентификации и авторизации для научно-образовательных сетевых сервисов, развития российского сегмента федеративной аутентификации и авторизации (AAI, Identity, Authentication and Authorisation). Федеративная авторизация – это инфраструктура, которая позволит пользовате-

лям сети RUNNet получать доступ к информационным ресурсам и сервисам научно-образовательных сетей и глобального Интернета по технологии «единого окна».

Как известно, современный вуз использует в образовательном процессе все возрастающее количество электронных образовательных ресурсов и сервисов как внутренних, так и внешних (приемная комиссия, электронный деканат, системы дистанционного обучения, электронные каталоги библиотек и издательств, системы научного цитирования и др.). Наличие инфраструктуры федеративной авторизации упрощает организацию взаимодействия между поставщиком ресурсов и сервисов и конечным пользователем. При этом хранение и обработка персональных данных пользователей производится в полном соответствии с требованиями действующего федерального законодательства.

Построение в RUNNet собственной федерации авторизации будет способствовать более глубокой интеграции сети в проект GÉANT со вступлением в ассоциацию федераций eduGAIN (GÉANT Authorisation Infrastructure, <http://services.geant.net/edugain/>). Этот проект объединяет системы федеративной авторизации, расположенные в разных странах по всему миру, предоставляя возможности доступа к контенту, сервисам и ресурсам для глобального сообщества сферы образования и науки. Участие в проекте eduGAIN предоставит российским вузам, пользователям сети RUNNet возможности по «прозрачной» коллаборации с ведущими мировыми образовательными и научными организациями.

Дальнейшее развитие концепции федеративных сервисов предполагает организационно-технологическое участие RUNNet в проекте eduroam (education roaming, <http://eduroam.org>). Этот проект представляет собой реализацию общемирового сервиса доступа к сетевым и информационным ресурсам, используемого в целях научного и образовательного сообщества. Проект позволяет организовать

Wi-Fi доступ пользователей (по единому уникальному логину и паролю) к научно-образовательным сетям и сервисам, а также к глобальному Интернету на территории любого вуза – участника проекта со своих личных портативных и мобильных устройств.

Среди перспективных направлений развития в области современных телекоммуникационных технологий предполагается дальнейшее внедрение в RUNNet сетевых протоколов нового поколения на базе IPv6, технологии SDN, участие в реализации и обеспечении функционирования системы защиты от DDOS атак на опорной инфраструктуре сети.

Персоналом сети RUNNet на регулярной основе проводится:

- аудит технического состояния зарубежного магистрального сегмента сети, развитых сегментов сети в Москве и Санкт-Петербурге (в том числе, в части магистральных узлов);
- выполняются работы по модернизации системы мониторинга, контроля и управления сетью RUNNet с внедрением и адаптацией ряда открытых программных продуктов (Cacti, RackTables, Zabbix, Redmine, OTRS и др.);
- проводится анализ и подготовка конкретных решений по внедрению в RUNNet системы типа «HelpDesk»;
- разрабатываются предложения и комплекс мер по повышению эффективности работы службы технической поддержки сети.

Заключение

Более 20 лет федеральная университетская компьютерная сеть России RUNNet успешно функционирует в качестве основы телекоммуникационной инфраструктуры единой научно-образовательной информационной среды сферы образования и науки России, отвечает базовым требованиям, предъявляемым к национальным научно-образовательным сетям, оперативно реагирует на новые высокотехнологичные

вызовы и современные тенденции в отрасли телекоммуникаций, принимает участие в новых перспективных проектах.

Для дальнейшего развития сети RUNNet требуется комплексная модернизация опорной инфраструктуры, что позволит обеспечить опережающую технологическую готовность сети к удовлетво-

рению потребностей российского научного сообщества на ближайшие годы, организовать высокопроизводительную телекоммуникационную связность научных и образовательных организаций России и будет способствовать более глубокой и всесторонней интеграции нашей страны в мировое научно-образовательное пространство.

Литература

1. Положение «О структуре отраслевой телекоммуникационной сети системы образования RUNNet» от 22.05.2003 г.
2. Абрамов А.Г., Гугель Ю.В., Ижванов Ю.Л. Федеральная университетская сеть RUNNet: прорыв в третье десятилетие // Информационное общество: образование, наука, культура и технологии будущего: сборник научных статей. Труды XVIII объединенной конференции «Интернет и современное общество» (IMS-2015), Санкт-Петербург, 23-25 июня 2015 г. – СПб.: Университет ИТМО. – 2015. – С. 249-259.
3. Ижванов Ю.Л., Гугель Ю.В. Сравнительный анализ характеристик российских и международных научно-образовательных сетей // Информатизация образования и науки. – 2009. – № 1. – С. 28-33.
4. Гугель Ю.В., Ижванов Ю.Л., Куракин Д.В. Сеть RUNNet: телекоммуникации для образования и науки // Информатизация образования и науки. – 2015. – № 2 (26). – С. 52-65.
5. Абрамов А.Г., Гугель Ю.В., Ижванов Ю.Л. Инновационные решения в развитии инфраструктуры и сервисов федеральной университетской сети RUNNet // Дистанционное и виртуальное обучение. – 2015. – № 8 (98). – С. 72-90.
6. Куракин Д.В. Сеть RUNNet переходит на технологию DWDM // Информатизация образования и науки. – 2009. – № 1. – С. 33-41.
7. Листвин В.Н., Трещиков В.Н. DWDM системы. М: Наука, 2013. – 267 с.
8. Куракин Д.В. Работы по развитию инфраструктуры национальной компьютерной сети науки и высшей школы // Информатизация образования и науки. – 2009. – № 2. – С. 30-37.
9. Абрамов А.Г., Гугель Ю.В., Карапетян Г.А. Федеральная университетская компьютерная сеть RUNNet: телекоммуникации для образования и науки России // Дистанционное и виртуальное обучение. – 2013. – № 1(67). – С. 67-80.
10. Абрамов А.Г. Облачные технологии на основе открытых программных решений в университетской сети RUNNet: опыт развертывания и эксплуатации // Информатизация образования и науки. – 2016. – № 1 (29). – С. 106-117.
11. OpenStack Cloud Software. Documentation. <http://docs.openstack.org>.