

## Федеральная университетская сеть России RUNNet: прорыв в третье десятилетие

Ю.В. Гугель, Ю.Л. Ижванов, А.Г. Абрамов  
Государственный научно-исследовательский институт  
информационных технологий и телекоммуникаций  
(ФГАУ ГНИИ ИТТ «Информика»)  
yli@informika.ru, gugel@run.net, abramov@run.net

### Аннотация

Данная статья носит обзорный характер и посвящена Федеральной университетской компьютерной сети RUNNet – крупнейшей научно-образовательной сети России, ведущей свою историю с 1994 года. Приводится историческая справка, обсуждается текущее состояние и перспективы развития телекоммуникационной инфраструктуры сети, освещаются проводимые в последние годы работы по ее модернизации. Даются общие сведения о реализации в RUNNet проектов по развертыванию облачных технологий и сервисов.

**Ключевые слова:** RUNNet; университетская компьютерная сеть России; телекоммуникационная инфраструктура; облачные вычисления

### 1. Введение

Наличие собственной глобальной высокоскоростной телекоммуникационной инфраструктуры, используемой в интересах науки и образования и обеспечивающей доступ в мировое информационно-телекоммуникационное пространство, а также связность с ведущими международными научно-образовательными сетями является важной характеристикой общего уровня экономического и технологического развития государства.

Задачи формирования единого информационного пространства сферы образования и науки Российской Федерации, его интеграции в мировое информационное сообщество, реализации международной кооперации в области науки и образования успешно решает в настоящее время Федеральная университетская компьютерная сеть RUNNet (Russian University Network).

Сеть RUNNet за время, прошедшее с момента ее основания в 1994 году, преодолела большой путь развития – от общей концепции [1] до полнофункциональной опорной сети национального масштаба, которая имеет высокоскоростную магистральную инфраструктуру, международный канал связи, позволяющий интегрироваться в глобальный Интернет, и участвует в обмене трафиком с большинством российских IP-сетей [2].

RUNNet имеет точки присутствия в 56 регионах России, предоставляя свои услуги более чем 500 организациям высшего и профессионального образования, научно-исследовательским центрам, региональным научно-образовательным сетям, учреждениям культуры и здравоохранения. Целевые пользователи сети – ведущие государственные вузы Москвы и Санкт-Петербурга, федеральные и национальные исследовательские университеты, крупные классические, технические, педагогические и отраслевые вузы страны.

В настоящей работе кратко представлена история создания и основные этапы развития сети RUNNet, обсуждается современное состояние телекоммуникационной инфраструктуры сети и ключевые проекты по ее модернизации внутри России на международных направлениях, приводится информация о развертывании в RUNNet платформы облачных вычислений.

## **2. Заметки к истории создания и развития сети RUNNet**

Федеральная университетская компьютерная сеть RUNNet зародилась более 20 лет назад, на заре развития Интернета в России, как вполне своевременный отклик на идею нескольких энтузиастов из образовательной среды о создании сети масштаба страны путем интеграции региональных научно-образовательных сетей, сетей крупных университетов и научно-исследовательских организаций [1].

В комплексе работ по созданию и развитию сети RUNNet в разные годы и на разных этапах участвовали десятки вузов и научных учреждений России из многих ее регионов. Работы проводились и продолжают сегодня 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», ряда федеральных целевых программ (ФЦП, ФЦНТП), государственных контрактов и программ Минобрнауки России.

Основой RUNNet стала опорная сеть, обеспечивающая магистральную связность между основными экономически развитыми регионами страны [1]. В первые годы построения собственной сетевой инфраструктуры были созданы федеральные и региональные узлы в ряде крупных городов России, в том числе главные площадки – в Москве и Санкт-Петербурге. Основные решаемые задачи сводились к настройке оборудования узлов сети, отладке организационного и технического взаимодействия между узлами, а также между RUNNet и другими компьютерными сетями. Работа сети RUNNet в этот период была организована преимущественно на основе спутниковых каналов связи, в городах России на базе крупных университетов устанавливались и вводились в эксплуатацию станции спутниковой связи [3].

Важным событием стало заключение осенью 1994 года Соглашения о сотрудничестве между RUNNet и научно-образовательной сетью стран Северной Европы NORDUnet, в соответствии с которым стороны договорились сотрудничать в областях обмена трафиком, поддержки общей инфраструктуры и международной связности. С этого момента и до настоящего времени связность сети RUNNet с мировым информационным телекоммуникационным

пространством образования и науки обеспечивается оптоволоконными каналами в сеть NORDUnet, суммарная емкость которых постоянно увеличивается – с весьма скромных значений в сотни Кбит/с в середине 1990-х годов [1] до соответствующих мировому уровню значений в 80 Гбит/с сегодня [2]. Первый международный технологический узел RUNNet был развернут в г. Хельсинки.

На фоне совершенствования международной связности сети RUNNet, существенные усилия были направлены и на развитие внутрироссийской канальной инфраструктуры. Планомерно расширялась география сети, сопровождавшаяся увеличением пропускной способности каналов и запуском новых опорных узлов RUNNet по всей стране. Велась работа по получению лицензий Роскомнадзора на предоставление услуг передачи данных и телематических услуг связи на территории российских субъектов. Администрирование и поддержка функционирования сети RUNNet на федеральном уровне в 1990-е годы осуществлялась совместно Государственным научно-исследовательским институтом информационных технологий и телекоммуникаций (ГНИИ ИТТ «Информика»), отвечавшим за наземную инфраструктуру, и Республиканским научным центром компьютерных телекоммуникационных сетей высшей школы «Вузтелекомцентр», в ведении которого находился спутниковый сегмент [3]. Работы по созданию национальной компьютерной сети высшей школы были отмечены на государственном уровне – группе сотрудников указанных организаций совместно с другими создателями сети RUNNet была присуждена премия Правительства Российской Федерации в области образования за 1999 год.

В 2000-е годы интенсивное и разноплановое развитие сети RUNNet продолжилось: была существенно увеличена емкость международных и внутрироссийских наземных каналов связи, введены в эксплуатацию два новых международных узла (в Стокгольме и Амстердаме), а также региональные узлы сети в России, проведена модернизация существующих узлов, новыми пользователями RUNNet стали десятки вузов и научно-исследовательских организаций [4]. Среди ключевых инфраструктурных и информационно-телекоммуникационных проектов, реализованных в это десятилетие на базе RUNNet, можно выделить организацию прямой физической связности с созданной в рамках Приоритетного национального проекта «Образование» школьной сетью, объединяющей более 50 тысяч общеобразовательных учреждений из всех регионов России, построение информационной сети для обмена научно-техническими и инженерными данными для nanoиндустрии России, ввод в эксплуатацию российского сегмента сети международного научно-образовательного проекта GLORIAD по маршруту Москва – Самара – Новосибирск – Хабаровск, обеспечение связности академических и университетских центров страны друг с другом и с международными научно-образовательными сетями (GEANT, NLR, Internet2 и др.), реализацию поддержки на магистральной части сети RUNNet протокола IPv6.

К 10-летию юбилею сети RUNNet в 2004 году более 50 человек, среди которых были представители «Информики», вузов и научно-исследовательских институтов были награждены Почетными грамотами Министерства

образования Российской Федерации за активное участие в обеспечении эффективной работы и развитии федеральной научно-образовательной сети.

С 2004 года ежегодно проводятся семинары-совещания по развитию и повышению эффективности функционирования сети RUNNet. Совещания проходят в различных регионах России на базе вузов, в которых расположены узлы сети. В совещаниях принимают участие представители администрации вузов, руководители и технический персонал узлов сети RUNNet, 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 к сети в регионах, расширения взаимодействия с международными научно-образовательными сетями, технологического развития сети, внедрения новых сетевых сервисов, подготовки и повышения квалификации технического персонала.

В 2009 году стартовали работы по построению и вводу в эксплуатацию собственного DWDM-сегмента магистральной инфраструктуры сети RUNNet на участке Санкт-Петербург – Хельсинки [5]. Технология уплотненного мультиплексирования с разделением по длине волны (Dense Wave-length Division Multiplexing, DWDM), как известно, предоставляет возможность передачи одновременно нескольких оптических сигналов на разных длинах волн в пределах одного оптического волокна, и повысить тем самым их суммарную емкость. Запущенная DWDM-система соединила российские научно-образовательные сети с сетями Европы и Северной Америки высокоскоростной магистралью с возможностью организации до 72 каналов при общей скорости пропуски трафика до 7200 Гбит/с .

Наряду с работами по усовершенствованию телекоммуникационной инфраструктуры, в RUNNet внедрялись и интенсивно развивались современные и высоко востребованные сетевые сервисы, и технологии. Сеть RUNNet предоставляет своим пользователям широкий спектр сервисов доступа к международным и российским информационным ресурсам в области науки и образования, обеспечивает возможности по применению новых технологий обучения, сетевую поддержку научных исследований и инновационной деятельности, развитие виртуальной академической мобильности, доступ к высокопроизводительным вычислительным ресурсам университетов, поддержку проектов в сфере облачных технологий, внедрение IP-телефонии, видеоконференцсвязи и других перспективных технологий информационного взаимодействия [6].

В настоящее время оперативное управление и развитие сети RUNNet осуществляется ФГАУ ГНИИ ИТТ «Информика» (г. Москва). Центр управления сетью (Network Operations Center, NOC) функционирует на базе филиала ФГАУ ГНИИ ИТТ «Информика» в г. Санкт-Петербурге.

### **3. Современное состояние телекоммуникационной инфраструктуры сети RUNNet**

#### **3.1. Общие сведения о телекоммуникационной инфраструктуре RUNNet**

Сегодня сеть RUNNet анонсирует во внешний мир более 1500 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 [7].

В состав опорной инфраструктуры RUNNet входят федеральные узлы сети 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 университетах страны [6, 8]. Магистральная связность внутри России обеспечивается цифровыми каналами, арендуемыми у крупных канальных операторов.

Сеть RUNNet имеет наиболее развитые региональные сегменты в городах Москва и Санкт-Петербург, где к ней подключено большинство государственных вузов, региональные научно-образовательные сети, а также десятки учреждений науки, культуры и здравоохранения. RUNNet предоставляет свои услуги университетам, имеющим статус федеральных и национальных исследовательских, сотням государственных вузов по всей стране.

Сеть RUNNet обеспечивает связность научных и университетских центров, ресурсных центров сферы образования и науки друг с другом, а также с российскими научно-образовательными сетями федерального и регионального уровней (RBNет, RASNet, RUHEP, RSSI). RUNNet предоставляет свою телекоммуникационную инфраструктуру для ряда масштабных всероссийских и межрегиональных проектов, среди которых – построение информационной сети для обмена научно-техническими и инженерными данными для nanoиндустрии России, проектов в области высокопроизводительных вычислений и технологий GRID, исследовательского проекта «Интернет нового поколения» (IPv6) и др.

Связность RUNNet с мировым информационно-телекоммуникационным пространством сферы образования и науки реализуется высокоскоростными каналами по направлениям Москва – Санкт-Петербург – Стокгольм – Амстердам и Москва – Санкт-Петербург – Хельсинки – Стокгольм (емкость каждого из каналов составляет 40 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) [5, 6].

RUNNet является единственной сетью в стране, обеспечивающей доступ российских пользователей к международным научно-образовательным сетям, в числе которых – GÉANT ([www.geant.net](http://www.geant.net)), NORDUnet ([www.nordu.net](http://www.nordu.net)), NLR

(www.nlr.net), Internet2 (www.internet2.edu) и др. Для обеспечения транзита трафика в глобальный Интернет организованы стыки с основными Tier-1 операторами (Cogent Communications, Level 3 Communications, Orange S.A., TeliaSonera International Carrier и др.).

Сеть RUNNet участвует в обмене IP-трафиком с большинством крупных российских (Ростелеком, РТКомм, Мегафон, Вымпелком и др.) и некоторыми зарубежными сетями. 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), Стокгольме (TeliaSonera, 2.5 Гбит/с) и Хельсинки.

### **3.2. Проекты по развитию транспортной инфраструктуры RUNNet на основе технологии DWDM**

Одной из наиболее заметных современных тенденций развития опорной инфраструктуры крупнейших научно-образовательных сетей мира является массовый переход на концепцию «темного волокна», предполагающую применение высокотехнологичных решений на основе DWDM [5]. Использование технологии DWDM позволяет научно-образовательным сетям снизить зависимость от «ценового диктата» канальных коммерческих операторов и обеспечить практически любые потенциальные потребности в пропускной способности каналов.

С учетом накопленного зарубежного опыта и в условиях сложившейся мировой кооперации научно-образовательных сетей, одним из стратегических направлений развития RUNNet в последние годы является формирование модернизированной опорной инфраструктуры, базирующейся на арендованном «темном волокне» и технологии DWDM.

Сеть RUNNet обладает сегодня собственным DWDM-сегментом на участке Санкт-Петербург – Хельсинки (на расстоянии 550 км). Суммарная скорость пропуска трафика при организации до 88 каналов на разной длине волны может составить 8800 Гбит/с. На протяжении оптоволоконной линии между Санкт-Петербургом и Хельсинки развернуты семь узлов связи, два из которых (в конечных городах маршрута) являются узлами доступа и позволяют осуществлять выделение каналов. Посредством DWDM-инфраструктуры научно-образовательной сети NORDUnet международные каналы RUNNet продляются до Стокгольма и Амстердама.

Построение DWDM-системы на одном из наиболее загруженных участков сети реализовано в научно-образовательных сетях России впервые и позволяет RUNNet находиться сегодня на уровне международных научно-образовательных сетей в развитии инфраструктуры [5, 7].

В 2014 году были выполнены работы по модернизации DWDM-сегмента RUNNet: проведены технологические испытания и введены в эксплуатацию решения нового поколения (100G DWDM), позволившие увеличить пропускную способность до 100 Гбит/с в расчете на один канал [8]. На узлах доступа сети RUNNet в Санкт-Петербурге и Хельсинки были установлены оптические интерфейсы емкостью 100 Гбит/с для одной несущей. В настоящее

время DWDM-сеть RUNNet одновременно поддерживает технологии 10G, 40G и 100G.

Современное технологическое решение 100G DWDM предоставляет научно-образовательным сетям возможности по эффективному использованию схемы частотного разнесения каналов и поддержанию экономичных оптических международных соединений. Созданная инфраструктура является основой высокоскоростной связности российских научно-образовательных сетей с научно-образовательными сетями Европы и США – NORDUnet, GÉANT, SURFnet, Internet2, ESnet, CANARIE, которые также постоянно повышают производительность своих магистральных каналов.

Первым этапом перехода RUNNet на технологию DWDM внутри России стало развертывание в 2014 году новой инфраструктуры в европейской части страны. Эта инфраструктура представляет собой транспортное «кольцо», охватывающее и соединяющее между собой города Москву, Нижний Новгород, Пермь, Екатеринбург, Челябинск, Уфу, Самару и Саратов. В перечисленных городах размещено современное оборудование передачи данных, служащее 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, инфраструктура организована с использованием арендованных «лямбда»-каналов. Топологически «кольцо» можно условно поделить на «южную» и «северную» части, доступ в RUNNet и транзит в глобальный Интернет в нем осуществляется через узлы сети RUNNet в г. Москве, имеется также прямая связность с узлом в г. Новосибирске.

Подключение к кольцевой инфраструктуре этого проекта, получившего название 3R (RUNNet Russian Ring), позволяет организовать между отдельными университетами и научными организациями прямое сетевое взаимодействие для участия в совместных проектах, эффективного доступа к сетевым сервисам, информационным системам, вычислительным ресурсам, научному оборудованию. Использованные решения обеспечивают резервируемость телекоммуникационной инфраструктуры и отсутствие дублирования каналов при уменьшении в несколько раз удельной стоимости полосы.

В число ключевых участников и партнеров RUNNet в проекте 3R вошли ведущие государственные университеты из регионов развертывания «кольца». Реализация проекта обеспечила возможность предоставления вузам и научным учреждениям регионов адекватные их текущим потребностям пропускные способности доступа к сети RUNNet, а также подключить новые научные и образовательные организации и/или отказаться от существующих каналов малой пропускной способности в нескольких десятках вузов и научных учреждений.

#### **4. Технологии облачных вычислений в сети RUNNet**

Наличие развитой инфраструктуры и возможностей надежного высокоскоростного доступа к глобальным телекоммуникационным сетям позволяют апробировать и развивать в RUNNet перспективные и постоянно набирающие популярность в мире технологии облачных вычислений (cloud computing) и внедрять соответствующие сервисы.

Для научно-образовательного сообщества применение различных вариаций облачных сервисов представляется весьма актуальным и перспективным применительно к решению широкого круга задач – от виртуализации инфраструктуры (IaaS) до предоставления «в аренду» программного обеспечения (SaaS) [9, 10]. Развитые облачные платформы позволяют обеспечить надежное хранение и эффективную работу с большими объемами данных, получать доступ к дополнительным вычислительным мощностям, дорогостоящему программному обеспечению и уникальному лабораторному оборудованию научно-образовательной направленности, развернуть в облаке системы дистанционного обучения, управления учебным процессом, электронного документооборота, организовать удаленный доступ преподавателей и учащихся к создаваемым по запросу виртуальным машинам для выполнения лабораторных практикумов и проведения иных учебных и методических мероприятий.

В филиале ФГАУ ГНИИ ИТТ «Информика» в г. Санкт-Петербурге с 2011 года реализуется проект, нацеленный на исследование и апробацию методов построения, распространенных архитектурных и программных решений технологий облачных вычислений, а также на их активное практическое внедрение и рабочую эксплуатацию на ресурсных емкостях сети RUNNet [11]. Развернутая и используемая в RUNNet облачная инфраструктура базируется на динамично развивающемся программном обеспечении с открытым исходным кодом OpenStack.

OpenStack представляет собой многофункциональную облачную платформу в виде набора («стека») технологических проектов, которая ориентирована на создание вычислительных облаков и облачных хранилищ данных приватного и публичного уровней [12]. Проект OpenStack был инициирован в 2010 году компанией Rackspace Cloud и агентством NASA, развивается силами глобального сообщества разработчиков под управлением одноименного консорциума и при спонсорской поддержке ряда ведущих компаний ИТ-отрасли (AT&T, Canonical, HP, IBM, Nebula, Rackspace, Red Hat, SUSE и др.).

В число базовых элементов платформы OpenStack входят проекты, отвечающие за управление жизненным циклом виртуальных машин в пределах облачной инфраструктуры (Nova), работу с образами виртуальных машин (Glance), управление сетевыми компонентами облака (Neutron), унифицированную ролевою аутентификацию пользователей и сервисов (Keystone), управление хранилищем данных блочного уровня (Cinder), веб-управление облачными сервисами (Horizon).

На первом этапе проекта в RUNNet был установлен экспериментальный облачный полигон, который включал в себя 5 серверных узлов, объединенных сетью 1GE. Полигон использовался для отработки технологических и методических вопросов установки, настройки и текущего сопровождения облачного программного обеспечения [11].

В 2014 году были проведены работы по модернизации аппаратно-программного комплекса облачной инфраструктуры RUNNet, и в настоящее время облако объединяет уже 10 серверных узлов суммарной пиковой производительностью 2.3 TFlops, которые связаны сетями 1GE/10GE,



обеспечивающими локальное взаимодействие облачных серверов и доступ для них и виртуальных машин в Интернет [13].

Работа облачной инфраструктуры организована в отказоустойчивом режиме («High Availability»), что достигается путем настройки двух равнозначных по функциональным возможностям серверных узлов для работы в роли контроллеров облака и применением технологий HaProxy / Keepalived с назначением «плавающего» виртуального IP-адреса (VIP), к которому обращаются все службы и сервисы облака. В случае неработоспособности основного контроллера, адрес VIP автоматически переназначается «запасному», обеспечивая тем самым бесперебойную работу вычислительных узлов, на которых запущены виртуальные машины.

Хранение статических образов и работающих экземпляров виртуальных машин производится в распределенной, линейно масштабируемой файловой системе GlusterFS, которая позволяет объединить в единое параллельное сетевое хранилище с синхронной репликацией данных несколько физически распределенных дисковых устройств. Применение GlusterFS позволяет осуществлять миграцию виртуальных машин в режиме реального времени («live migration») так, что экземпляры машин могут беспрепятственно перемещаться с одного узла на другой.

Серверные компьютеры облака в обновленной конфигурации имеют по три сетевых интерфейса и связаны между собой управляющей сетью (Management Network, 1GE), по которой производится удаленный доступ к узлам по их приватным адресам и осуществляется взаимодействие облачных сервисов (Openstack API), а также сетью для передачи данных (Data Network, 10GE), служащей для работы сетевой файловой системы GlusterFS. Третья сеть (Public Network) обеспечивает доступ к виртуальным машинам из сети Интернет по назначаемым им публичным IP-адресам с разнесением подсетей по разным VLAN [13].

В настоящее время в облачной инфраструктуре RUNNet работает несколько десятков виртуальных машин, ориентированных, в том числе, на реализацию различных информационных и телекоммуникационных сервисов сети RUNNet, таких как DNS (хранение зон, резолвинг), хостинг научно-образовательных веб-сайтов, службы электронной почты, сервисы проверки электронной почты на спам и вирусы, поддержка служб IP-телефонии, блокировка запрещенного законодательством веб-контента, сервис видеоконференций, сетевого мониторинга и др. Ряд виртуальных машин арендуется вузами и используется для хостинга образовательных ресурсов, поддержки сервисов управления учебным процессом, фильтрации веб-трафика и других целей.

## 5. Заключение

Федеральная университетская компьютерная сеть России RUNNet начала отчет третьего десятилетия своей истории, достигнутый уровень развития сети позволяет поставить ее сегодня в один ряд с крупнейшими научно-образовательными сетями мира.

Внедрение современных инфраструктурных решений, востребованных и актуальных сетевых технологий, и сервисов, своевременный и

высокопрофессиональный отклик на вызовы ИТ-отрасли и постоянно растущие потребности сферы науки и образования позволяет с оптимизмом смотреть в будущее сети RUNNet и ее вклад в дальнейшее укрепление научно-технического потенциала страны.

## Литература

- [1] Васильев В.Н., Гугель Ю.В., Робачевский А.М. Компьютерные сети: принципы построения, подсистемы, сетевые услуги // Сб. «Компьютерные технологии в высшем образовании». М.: Изд-во Моск. ун-та, 1994. С. 61–86.
- [2] Гугель Ю.В., Ижванов Ю.Л. Университетской компьютерной сети RUNNet 20 лет: новые возможности в юбилейный год // Телематика'2014: труды XXI Всероссийской научно-методической конференции (Санкт-Петербург, 23–26 июня 2014 г.). СПб: Изд-во Университета ИТМО, 2014. С. 161–164.
- [3] Васильев В.Н., Гугель Ю.В., Ижванов Ю.Л., Тихонов Д.Н., Хоружников С.З. RUNNet: связь для образования и науки России. Спутниковый сегмент федеральной университетской сети RUNNet // Технологии и средства связи. 2008. №S4. С. 72–75.
- [4] Васильев В.Н., Гугель Ю.В., Ижванов Ю.Л., Тихонов А.Н., Хоружников С.Э. Федеральная научно-образовательная сеть RUNNet. Состояние и перспективы развития // Телематика'2004: труды XI Всероссийской научно-методической конференции (Санкт-Петербург, 7-10 июня 2004 г.). СПб: Изд-во СПбГУ ИТМО, 2004. Т. 1. С. 44–46.
- [5] Гугель Ю.В., Ижванов Ю.Л., Куракин Д.В. Развитие международной связности федеральной компьютерной сети RUNNet // Телематика'2010: труды XVII Всероссийской научно-методической конференции (Санкт-Петербург, 20-23 июня 2010 г.). СПб: Изд-во СПбГУ ИТМО, 2010. Т. 1. С. 273–275.
- [6] Гугель Ю.В., Абрамов А.Г., Карапетян Г.А. Федеральная университетская компьютерная сеть RUNNet: телекоммуникации для образования и науки России // Дистанционное и виртуальное обучение. 2013. №1(67). С. 67–80.
- [7] Ижванов Ю.Л., Гугель Ю.В. Сравнительный анализ характеристик российских и международных научно-образовательных сетей // Информатизация образования и науки. 2009. №1. С. 28–33.
- [8] 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.
- [9] Chao L. Cloud computing for teaching and learning: strategies for design and implementation. IGI Global, 2012.
- [10] Соснин В.В. Облачные вычисления в образовании. М.: НОУ ИНТУИТ, 2014.
- [11] Абрамов А.Г. Облачные технологии на основе открытых программных решений в сети RUNNet: опыт внедрения и перспективы использования / Труды XIX Всероссийской научно-методической конференции "Телематика-2012", Санкт-Петербург, 25-28 июня 2012 г. Т. 2. С. 258–259.
- [12] Rhoton J., de Clercq J., Novak F. Openstack cloud computing: architecture guide. Recursive Press, 2014.

- [13]Абрамов А.Г. Опыт эксплуатации технологий облачных вычислений на основе открытой платформы OpenStack в сети RUNNet // Телематика'2014. Труды XXI Всероссийской научно-методической конференции. 2014. С. 157–160.

### **Federal university network of Russia RUNNet: breakthrough into the third decade**

Yu. Gugel, Yu. Izhvanov, A. Abramov  
State Institute of Information Technologies and Telecommunications  
(FPAI SIIT&T «Informika»)

The paper is a review and devoted to the Federal university computer network RUNNet – the largest research and education network in Russia, leading its history since 1994. The historical background, the current state and prospects of development of telecommunications network infrastructure are discussed, works on its modernization carried out in recent years are highlighted. General information about the realization of projects on deployment of cloud technologies and services in RUNNet are provided.

**Keywords:** RUNNet, university computer network of Russia, telecommunications infrastructure, cloud computing