

**А. Г. Абрамов**, канд. физ.-мат. наук, зам директора, доц., e-mail: abramov@runnet.ru,  
Филиал ФГАУ ГНИИ ИТТ "Информика" в г. Санкт-Петербурге, Санкт-Петербургский  
политехнический университет Петра Великого

## Панъевропейский научно-образовательный сетевой консорциум GÉANT: особенности инфраструктуры, ключевые проекты и сервисы<sup>1</sup>

*Работа посвящена телекоммуникационному консорциуму GÉANT, который представляет собой общеевропейскую высокоскоростную сеть передачи данных, эксплуатируемую и развиваемую в нуждах сферы науки и образования. Рассматриваются принципы функционирования, особенности опорной инфраструктуры и сетевой связности. Обсуждаются решаемые задачи по поддержке глобальных научно-исследовательских проектов и региональных телекоммуникационных инициатив, приводятся сведения о развиваемых сервисах, а также о направлениях взаимодействия сети RUNNet и GÉANT.*

**Ключевые слова:** GÉANT, сетевой консорциум, национальная научно-образовательная сеть, NREN, RUNNet, телекоммуникационная инфраструктура, сетевая связность, сетевые сервисы

### Введение

Термин "национальная научно-образовательная сеть" (National Research and Education Network, NREN) хорошо знаком в профессиональной среде специалистов, вовлеченных в масштабные научно-исследовательские проекты, в результате выполнения которых генерируются сверхбольшие объемы научных данных, требующих совместной обработки участниками в распределенном режиме с использованием развитых средств телекоммуникаций [1–3].

Под национальной научно-образовательной сетью принято понимать высокопроизводительную телекоммуникационную инфраструктуру масштаба страны, которая эксплуатируется в интересах науки и образования, обеспечивает доступ целевых пользователей в глобальное пространство информационно-коммуникационных технологий (ИКТ-пространство), связность с мировыми NREN и сетевыми консорциумами, а также является ядром развития и провайдером востребованных сетевых сервисов и сервисов коллективного пользования [1, 4–6].

В настоящее время собственные NREN функционируют более чем в 140 странах мира [4, 6–8]. В ряду наиболее развитых NREN можно упомянуть сети Internet2, ESnet и NISN (США), NORDUnet (страны Северной Европы), SURFnet (Нидерланды), DFN (Германия), JANET (Великобритания), CESNET (Чехия), CANARIE (Канада), AARNet (Австралия) и некоторые другие [4, 7, 8].

Федеральная университетская компьютерная сеть России RUNNet (Russian UNiversity Network, <http://www.runnet.ru>), существующая и развивающаяся с 1994 г., является сегодня крупнейшей и, по сути, единственной в нашей стране телекоммуникационной сетью научно-образовательной направленности [4–6, 9, 10]. Административно-технологическое и научно-методическое управление сетью RUNNet выполняет ФГАУ ГНИИ ИТТ "Информика".

RUNNet представляет собой опорную сеть национального уровня, имеет точки присутствия во всех восьми федеральных округах (в 56 субъектах страны), предоставляя свои телекоммуникационные и информационные услуги более 400 организациям высшего образования, научно-исследовательским организациям, региональным научно-образовательным

<sup>1</sup> Статья подготовлена в рамках Государственного задания ФГАУ ГНИИ ИТТ "Информика" на 2017–2018 гг.

сетям, ряду учреждений культуры и здравоохранения.

Сеть RUNNet обеспечивает российским научным и образовательным организациям надежный высокоскоростной доступ к международным NREN и расположенным в них ресурсам и сервисам, функционирование единого научно-образовательного информационного пространства сферы образования и науки страны для реализации информационного взаимодействия между организациями при осуществлении ими основной деятельности, оказании образовательных услуг, совместном выполнении наукоемких проектов [4, 5, 9].

Текущий этап развития NREN характеризуется повсеместным формированием межгосударственных сетевых объединений, организуемых в целях повышения степени связности национальных сетей друг с другом, а также технологической и экономической эффективности сетевого взаимодействия [4, 6—8]. Крупные сетевые консорциумы обычно связаны друг с другом высокопроизводительными каналами.

В ряду наиболее масштабных по охвату стран-участниц, статусу организационного и технологического развития научно-образовательных сетевых консорциумов особое место занимает панъевропейский проект GÉANT (Gigabit European Academic Network Technology, <http://www.geant.net>), объединяющий и связывающий между собой NREN практически всей Европы [4, 7, 8].

GÉANT нацелен на реализацию парадигмы "открытой науки" ("open science") посредством комплексной поддержки европейских и мировых исследовательских сообществ, стимулирования и предоставления сетевых сервисов и технологий для расширения возможностей сотрудничества в самых разных научных, научно-технологических и иных областях.

Отдельного упоминания здесь заслуживают исследовательские коллаборации и проекты, при реализации которых интенсивно эксплуатируется ИКТ-инфраструктура GÉANT и мировых NREN, в том числе в областях физики частиц, космических исследований и спутниковых наблюдений, медицины и здравоохранения, энергетики, электронного обучения, культуры и искусства.

Общеизвестным примером таких международных проектов являются исследования по физике высоких энергий, проводимые на базе Большого адронного коллайдера (Large Hadron Collider, LHC) в ЦЕРН. Хранение, передача и обработка десятков терабайтов данных, еже-

дневно генерируемых экспериментами на LHC, в настоящее время обеспечиваются в рамках проекта WLCG (Worldwide LHC Computing Grid), который представляет собой глобальную коллаборацию, объединяющую почти 200 вычислительных центров разных уровней со всего мира, в том числе расположенные в научных и образовательных организациях России [11, 12].

В статье освещаются принципы функционирования проекта GÉANT, особенности опорной инфраструктуры и сетевой связности, решаемые задачи по поддержке научно-исследовательских проектов и региональных телекоммуникационных инициатив, приводятся сведения о развиваемых технологиях, сетевых сервисах и сервисах коллективного пользования, обсуждаются направления взаимодействия сети RUNNet и GÉANT.

## **1. Консорциум GÉANT: опорная инфраструктура, сетевая связность, координация региональных телекоммуникационных проектов**

### ***1.1. Особенности опорной инфраструктуры сети GÉANT***

Консорциум GÉANT представляет собой общеевропейскую ультравысокоскоростную мультигигабитную опорную транспортную IP-сеть ("backbone"), функционирующую в интересах сферы науки и образования и обеспечивающую сетевую связность более 10 тыс. образовательных и научных организаций из 39 стран Европы, Турции и Израиля (рис. 1, см. третью сторону обложки, <http://map.geant.org>) [7, 8, 13]. Общее число пользователей GÉANT превышает 50 млн человек.

Пропускная способность опорной инфраструктуры составляет 100 Гбит/с, объединяемые консорциумом NREN обладают как высокой производительностью, так и обширным географическим охватом, предоставляя исследователям, преподавателям и студентам по всей Европе широкие возможности для международного сотрудничества и тематического общения. GÉANT обладает собственными (или арендуемыми) телекоммуникационными узлами во всех странах—участницах проекта, на которых организуется обмен трафиком между локальными NREN.

Опорная инфраструктура GÉANT обладает 100 %-ной доступностью в среднем в течение месяца, ежедневно по ней передается более

4 Пбайт данных. Инфраструктура и сервисы сети обладают высокой степенью гибкости и могут быть адаптированы к индивидуальным потребностям пользователей [7, 13].

Необходимость обеспечивать поддержку широкого спектра пользователей и сервисов побудила GÉANT к применению двухуровневой сетевой модели, способной интегрировать различные требования к услугам в рамках единой базовой инфраструктуры, включающей в себя уровень передачи (transmission layer) и пакетный уровень (packet layer) [7].

Уровень передачи построен либо на базе темных волокон, либо на точках присутствия GÉANT (PoP), либо на арендованных у коммерческих провайдеров и/или NREN длинах волн в получивших широкое распространение DWDM-системах. GÉANT использует одно из ведущих в отрасли оптическое оборудование Infinera DTN-X, объединяющее сотни оптических компонентов на одном чипе с возможностью формирования суперканалов емкостью 500 Гбит/с, оптические усилители для управления волоконно-оптической магистралью, интегрированный OTN (Optical Transport Network) коммутационный уровень с технологией управления оптической сетью GMPLS (Generalized MultiProtocol Label Switching), позволяющей быстро обеспечить требуемую пропускную способность и восстановить емкость сети при разрыве волокон.

Пакетный уровень, поддерживая сервисы Layer2 и Layer3, является конвергентным: пользователям предоставляются как Ethernet-соединения (GÉANT Plus), так и IP-сервисы. Консорциум реализует данный уровень на базе оборудования Juniper MX (которое используется также и в сети RUNNet). Сервис GÉANT Plus предоставляется с использованием технологии MPLS, а IP-сервисы включают в себя: GÉANT IP, Layer3 VPN, GÉANT World Service, сервис обмена трафиком.

Консорциум совершает постоянные масштабные инвестиции в исследования и разработку сетевых архитектур, технологий и парадигм в целях перехода в будущем на новые ультрасовременные сервисы, инструменты и сетевые возможности [7, 13]

### ***1.2. Региональная и межконтинентальная связность GÉANT. Поддержка региональных телекоммуникационных проектов***

Текущая связность GÉANT с национальными научно-образовательными сетями и ре-

гиональными сетевыми проектами по всему миру обеспечивает обмен данными с более чем 60 странами за пределами Европы (рис. 2, см. третью сторону обложки).

GÉANT является постоянным партнером ЕС во многих программах и инициативах при осуществлении глобального сотрудничества в сфере образования и науки, координирует и управляет реализацией проектов по развитию межгосударственных сетевых консорциумов в Европе, Средиземноморском регионе, Африке и Центральной Азии. Кроме того, поддерживает научные и образовательные сетевые проекты в Латинской Америке, Карибском бассейне и Азиатско-Тихоокеанском регионе, координирует сотрудничество между Европой и Китаем, взаимодействует с коллегами из Северной Америки.

Консорциум, в ряду других, обладает IP-связностью с NREN Северной Америки посредством нескольких разнесенных каналов емкостью по 100 Гбит/с, Латинской Америки, Азиатско-Тихоокеанского региона, Африки (несколько каналов по 10 Гбит/с), Ближнего Востока (1...10 Гбит/с).

В рамках исторически налаженного взаимодействия общеевропейских и североамериканских исследовательских сетей функционирует высокоскоростная трансатлантическая связность между континентами. Многолетними партнерами GÉANT в США являются научно-образовательные сети Internet2, ESnet (Energy Sciences Network), NISN (NASA Integrated Services Network), а также Университет Индианы, в Канаде — сеть CANARIE.

В совместно эксплуатируемой сетевой инфраструктуре GÉANT отвечает за работу канала производительностью 100 Гбит/с на направлении Лондон — Нью-Йорк. Дополнительные каналы, предоставляемые североамериканскими партнерами GÉANT, гарантируют множественную связность, резервирование сетевой инфраструктуры, отсутствие единых точек сбоя, что обеспечивает беспрепятственную и непрерывную межконтинентальную передачу данных.

Указанная связность является ключевой в обеспечении функционирования научных коллабораций при совместном выполнении проектов и, в первую очередь, экспериментальных исследований на базе LHC в ЦЕРН, ряд центров обработки результатов которых находится в Северной Америке [7, 11, 12].

Латиноамериканский научно-образовательный консорциум RedCLARA (Cooperacin Latino Americana de Redes Avanzadas, <http://>

www.redclara.net) интегрирует 15 NREN региона и обладает связностью с GÉANT посредством трансатлантического канала между Сан-Паулу и Лондоном (емкостью 10 Гбит/с). Можно заметить, что в период с 2003 по 2012 г. консорциум RedCLARA частично финансировался ЕС в рамках проектов ALICE/ALICE2 (Latin America Interconnected with Europe).

На африканском континенте развиваются сразу несколько научно-образовательных сетевых объединений, среди которых в настоящее время в активной фазе выполнения находится общеконтинентальный проект AfricaConnect (<https://www.africconnect2.net>). Это объединение, инициированное в 2011 г., было задумано как проект panaфриканской "зонтичной" связности, который базируется на кластерном подходе, адаптированном к географическим, культурным и организационным особенностям регионов континента и различным уровням развития NREN.

В настоящее время реализуется второй этап этого проекта, который софинансируется ЕС (при координации GÉANT) и африканскими странами-участниками, связывает три географические области континента ("кластеры") и включает в себя региональные сетевые объединения и NREN, в том числе консорциумы стран северной (ASREN, Arab States Research and Education Network, <http://asrenorg.net>), восточной и южной (UbuntuNet, <http://www.ubuntunet.net>), а также западной и центральной Африки (WACREN, West and Central African Research and Education Network, <http://www.wacren.net>).

Проект EUMEDCONNECT (Eastern Mediterranean Connect, <http://www.eumedconnect3.net>) нацелен на создание и поддержку функционирования высокопроизводительной сети в интересах исследовательских и образовательных сообществ в регионе Восточного Средиземноморья в составе NREN Иордании, Ливана, Палестинской автономии и Сирии. В настоящее время при поддержке ЕС, под управлением GÉANT и в партнерстве с ASREN реализуется третий этап проекта (2016—2019 гг.).

В Азиатско-Тихоокеанском регионе ключевые консорциумы, объединяющие локальные NREN, — это проекты Asi@Connect и APAN (Asia-Pacific Advanced Network, <http://www.apan.net>). Asi@Connect (<http://www.tein.asia>) является преемником проекта TEIN (Trans-Eurasia Information Network), софинансируется ЕС и локальными NREN и предоставляет телекоммуникационную транспортную инфраструктуру научным и образовательным сетевым

коллаборациям в азиатском регионе, связывая исследователей друг с другом и с коллегами в Европе через прямые стыки с GÉANT. Консорциум Asi@Connect объединяет 20 NREN; пропускная способность опорной инфраструктуры сети составляет 10 Гбит/с.

Сетевая связность GÉANT с Китаем обеспечивается на базе совместно управляемого и финансируемого консорциумом GÉANT и NREN Китая канала между Пекином и Лондоном (емкостью 10 Гбит/с); такое сотрудничество является естественным продолжением проекта ORIENTplus (<https://www.orientplus.eu>), который реализовывался в 2011—2014 гг.

На протяжении текущей декады целевую финансовую поддержку развитию NREN в странах бывшего СССР (за исключением России) оказывает ЕС в рамках координируемых GÉANT международных проектов EaPConnect (Eastern Partnership Connect) и CAREN (Central Asian Research and Education Network).

Программа EaPConnect (<https://www.eapconnect.eu>) рассчитана на 2015—2020 гг. и ориентирована на страны так называемого "Восточного партнерства" (Армения, Азербайджан, Беларусь, Грузия, Молдова и Украина).

Программа CAREN (<https://caren.geant.org>) была инициирована в 2009 г.; в настоящее время (до 2019 г.) в стадии реализации находится третий этап проекта с участием Киргизии, Таджикистана, Казахстана, Туркмении и Узбекистана. Консорциум объединяет более 300 научных и образовательных организаций и около полумиллиона пользователей.

Цели обеих программ схожи — построение и последующая эксплуатация сети широкополосного доступа в Интернет с высокой пропускной способностью для сферы науки и образования стран-участниц; интеграция локальных NREN в общеевропейскую сеть GÉANT, в том числе в целях сокращения имеющегося "цифрового разрыва", внедрение и эксплуатация развитых сетевых сервисов и технологий; содействие участию преподавателей, исследователей и студентов стран в совместных научно-образовательных проектах.

Российская научно-образовательная сеть RUNNet имеет постоянную высокоскоростную связность с консорциумом GÉANT, реализованную на базе прямых пиринговых стыков с использованием портов производительностью 10 Гбит/с на одном из зарубежных опорных узлов RUNNet в Хельсинки.

На рис. 3 (см. третью сторону обложки) показан график, демонстрирующий типичные

объемы обмена данными пользователей RUNNet с мировым научно-образовательным сообществом (через инфраструктуру GÉANT) [4]. Приведенные показатели подтверждают высокую востребованность в кооперации российских и зарубежных научных и образовательных организаций в целях участия в совместных исследовательских проектах, требующих интенсивного использования средств телекоммуникаций.

### 3. Сетевые сервисы и сервисы коллективного пользования GÉANT

GÉANT поддерживает и развивает широкий спектр сетевых сервисов и сервисов коллективного пользования, включая передачу IP-трафика и организацию выделенных сетей, виртуальные и облачные ресурсы и сервисы, сервисы федеративной аутентификации и роуминга в Wi-Fi сетях, службы коммуникаций в режиме реального времени, средства эффективного мониторинга и устранения неполадок при работе сети и т. д.

Сервисы, разрабатываемые и эксплуатируемые под управлением GÉANT в интересах сферы науки и образования, можно условно разделить на следующие функциональные категории [7, 13]:

- сервисы обеспечения сетевой связности и управления сетью (*Connectivity & network management*);
- сервисы доверия, идентификации и безопасности (*Trust, Identity & Security*);
- облачные сервисы (*Cloud services*);
- сервисы коммуникаций в режиме реального времени (*Real-time communications*).

Портфель сервисов обеспечения сетевой связности в нотации GÉANT включает в себя: транзит научного IP-трафика, организацию выделенных сетей с повышенными требованиями к качеству, VPN-сервисы, поддержку открытых исследовательских коллабораций (GÉANT Open), создание тестовых телекоммуникационных стендов для исследователей (GÉANT Testbeds).

Развиваемые GÉANT сервисы управления сетью для научных и образовательных организаций — это:

- *eduPERT* (EDUcation Performance Enhancement Response Team, <https://edupert.geant.net>), исследовательская и консультационная служба по вопросам производительности сети;
- *perfSONAR* (Performance focused Service Oriented Network monitoring ARchitecture, [https://](https://www.perfsonar.net)

[www.perfsonar.net](http://www.perfsonar.net)), сервис мониторинга производительности сети в режиме реального времени.

Основные сервисы доверия, идентификации и безопасности:

- *eduGAIN* (EDUcation Global Authentication Infrastructure, <http://edugain.org>), глобальная инфраструктура федеративной авторизации;
- *eduroam* (EDUcation ROAMing, <https://www.eduroam.org>), сервис международного роуминга в Wi-Fi сетях;
- *eduPKI* (EDUcation Public Key Infrastructure, <https://www.edupki.org>), инфраструктура открытых ключей шифрования;
- *TACAR* (Trusted Academic CA Repository, <https://www.tacar.org>), сервис хранения и безопасного распространения цифровых сертификатов CA.

Сервис eduGAIN объединяет системы федеративной авторизации, эксплуатируемые в разных странах по всему миру, предоставляя пользователям уникальные возможности доступа к контенту, сервисам и ресурсам глобального сообщества сферы образования и науки по технологии "единого входа" (SSO, Single Sign-On) [7, 13].

В сети RUNNet с 2017 г. ведутся работы по построению собственной платформы федеративной авторизации, в рамках которых, в частности, создана инфраструктура управления федерацией, разработаны технические инструкции по разворачиванию сервисов в конечных организациях, создан демонстрационный полигон федеративного доступа к облачным сервисам коллективного пользования, утверждены организационно-правовые и технические регламенты удостоверяющей федерации, подготовлены необходимые документы и подана заявка на вступление удостоверяющей федерации России (RUNNetAAI) в международный проект eduGAIN [4, 14].

Проект eduroam представляет собой сервис роуминга в беспроводных Wi-Fi сетях для научно-образовательного сообщества, при использовании которого студенты, преподаватели и научные работники получают возможность бесплатного доступа к сети Интернет и ресурсам NREN в вузах и научных центрах страны и за рубежом — в кампусах организаций—участников проекта [4, 7, 14]. При этом доступ к сервису с личных портативных и мобильных устройств осуществляется по единым учетным данным (логину и паролю), выданным пользователю его "домашней" организацией.

На текущий момент в части развития данного сервиса в RUNNet создана интегрирован-

ная инфраструктура авторизации и аутентификации пользователей на базе сетей RUNNet и RASNet (корпоративная сеть РАН), организовано резервирование ключевых элементов программно-аппаратной инфраструктуры сервиса, разработаны организационно-технические решения; стартовали работы по подключению к проекту вузов и научных институтов, развернута пилотная зона роуминга в Wi-Fi сетях [4, 14].

Ключевые группы развиваемых GÉANT *облачных сервисов* — это Infrastructure as a Service (IaaS), сервисы хранения файлов и синхронизации данных, сервисы коммуникаций в режиме реального времени, дистанционного и электронного обучения, обеспечения информационной безопасности.

Среди облачных сервисов к наиболее востребованным можно отнести:

- *ownCloud* (<https://owncloud.org>) — сервис для синхронизации данных, обмена файлами и удаленного хранения с развитым дополнительным функционалом;
- *FileSender* (<http://www.filesender.org>) — сервис трансфера и обмена файлами большого размера.

Следует заметить, что оба эти сервиса развернуты и активно эксплуатируются в собственной облачной инфраструктуре RUNNet в пределах полигона сервисов коллективного пользования на базе технологии SSO [4, 14]. Платформа ownCloud, в числе других, предоставляет возможности совместной работы с документами офисных форматов, реализованные на основе API, с помощью которого осуществляется интеграция ownCloud с открытым офисным пакетом ONLYOFFICE Document Server.

Облачная инфраструктура RUNNet функционирует в виде приватного облака и базируется на открытой облачной платформе OpenStack [4, 15]. В облаке работают несколько десятков виртуальных машин, ориентированных в том числе на поддержку работоспособности сервисов сети RUNNet, таких как DNS (хранение зон, резолвинг), хостинг образовательных веб-сайтов, проверка электронной почты на спам и вирусы, поддержка служб VoIP-телефонии, блокировка доступа к запрещенным российским законодательством веб-ресурсам, сервисы видеоконференций и вебинаров, сервисы сбора и обработки сетевой статистики, анализа сетевого трафика пользователей, службы мониторинга работы сети и сервисов и др.

Многопользовательские сервисы коммуникаций режима реального времени, развиваемые GÉANT:

- *eduCONF* (EDUcation CONFerencing, <https://educonf.geant.org>) — сервис проверки видеоконференций NREN;
- *eduOER* (EDUcation Open Educational Resource, <https://oer.geant.org>) — сервис поддержки доступа к мультимедийному контенту разных репозиториям;
- *NRENum.net* (<https://nrenum.net>) — сервис сопровождения телефонных номеров международного телекоммуникационного плана E.164.

Администрация и технические специалисты RUNNet заинтересованы и предпринимают конкретные организационные и практические шаги по дальнейшей апробации и внедрению в сети ряда перечисленных выше сервисов, в том числе в целях более глубокой интеграции RUNNet в мировое научно-образовательное телекоммуникационное пространство и расширения областей взаимодействия с консорциумом GÉANT и зарубежными NREN.

## Заключение

В работе рассмотрены и обсуждены решаемые задачи, принципы функционирования и основные направления деятельности сетевого консорциума GÉANT как глобального ИКТ-проекта, интегрирующего и связывающего между собой национальные научно-образовательные сети стран Европы, взаимодействующего с NREN стран других континентов и координирующего развитие региональных сетевых консорциумов. Представлены особенности опорной инфраструктуры GÉANT и организации сетевой связности, сведения о развиваемых сервисах, текущих и потенциальных направлениях взаимодействия Федеральной университетской сети России RUNNet и консорциума GÉANT.

## Список литературы

1. Allocchio C., Balint L., Berkhout V., Bersee J., Izhvanov Y. et al. A History of international research networking: the people who made it happen. N. Y.: Wiley-VCH, 2010. 317 p.
2. Ryan J. A History of the Internet and the digital future. London: Breaction Books Ltd, 2015. 248 p.
3. Lehtisalo K. The History of NORDUnet: Twenty-five years of networking cooperation in the Nordic countries (2005). URL: <http://www.nordu.net/history/book.html>.
4. Отчет о выполнении Государственного задания ФГАУ ГНИИ ИТТ "Информика" на 2017 г. по теме "Обеспечение функционирования инфраструктуры RUNNet и доступа Минобрнауки России к сети Интернет. Проектирование и подготовка к запуску научных сервисов для обеспечения до-

ступа пользователей к данным и результатам исследований в приоритетных научных областях". М.: ФГАУ ГНИИ ИТТ "Информика", 2017. 514 с.

5. **Концепция** функционирования и развития федеральной университетской компьютерной сети RUNNet на 2017–2019 годы (утверждена Минобрнауки России 03 октября 2017 г. № ГТ-90/вн). М.: ФГАУ ГНИИ ИТТ "Информика", 2017. 33 с.

6. **Ижванов Ю. Л.** Научно-образовательные компьютерные сети. Прошлое, настоящее и тенденции развития // Образовательные ресурсы и технологии. 2017. № 2 (19). С. 17–25.

7. **Официальный** сайт консорциума GÉANT. URL: <http://www.geant.net>.

8. **GÉANT Association Compendium of national research and education networking organisations in Europe — 2015 Edition.** URL: <https://compendium.geant.org>.

9. **Абрамов А. Г., Евсеев А. В.** Сеть RUNNet: навстречу современным вызовам сферы телекоммуникаций в науке и образовании // Информатизация образования и науки. 2017. № 1 (33). С. 100–115.

10. **Абрамов А. Г., Евсеев А. В.** Анализ потребностей организаций высшего образования России в телекоммуникационных сервисах научно-образовательной направленности // Информатизация образования и науки. 2018. № 2 (38). С. 9–18.

11. **Официальный** сайт проекта WLCG. URL: <http://wlcg.web.cern.ch>.

12. **Martelli E., Stancu S.** LHCOPN and LHCONE: status and future evolution // Journal of Physics: Conference Series. 2015. Vol. 664. URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/664/5/052025>.

13. **GÉANT Annual Report 2016.** URL: <https://ar2016.geant.org>.

14. **Абрамов А. Г., Васильев И. В., Порхачев В. А.** Развитие инфраструктуры аутентификации и авторизации для удостоверяющей федерации в рамках проектов eduGAIN и eduoam на базе сети RUNNet // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. 2017. № 4. С. 56–64.

15. **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.

**A. G. Abramov**, e-mail: [abramov@runnet.ru](mailto:abramov@runnet.ru),

St.-Petersburg branch of FPAI SIIT&T "Informika" (Deputy director),  
Peter the Great St.-Petersburg Polytechnic University (Assistant professor)

## Pan-European Research and Education Network Consortium GÉANT: Features of Infrastructure, Key Projects and Services

*This review paper is dedicated to the world's largest telecommunication consortium GÉANT (Gigabit European Academic Network Technology), which is the pan-European high-speed data transfer network operated and developed in the needs of the research and education sphere. General information about current status of National Research and Education Networks (NRENs) developing around the world and Federal university computer network of Russia RUNNet (Russian UNiversity Network) is given. The main principles of functioning, the features of the terabit-ready backbone infrastructure, global, regional and intercontinental network connectivity of the GÉANT are considered. The innovative GÉANT network technology which is built on two layers (transmission and packet) is presented and discussed in brief. Some quantitative and qualitative characteristics of the network, GÉANT topology and connectivity maps are given. The main tasks are being performed by consortium in order to support and manage global research projects in priority scientific areas and regional telecommunications initiatives (such as RedCLARA, AfricaConnect, Asi@Connect, EaPConnect, CAREN) are mentioned and discussed. The information about the network and collaboration services developed by consortium in cooperation with local NRENs is provided. Among these services are connectivity and network management services, trust, identity and security services, the wide range of cloud services, real-time communications services, etc. The current state and potentially directions in-demand of the cooperation between the RUNNet network and the consortium GÉANT are considered.*

**Keywords:** GÉANT, network consortium, national research and education network, NREN, RUNNet, telecommunication infrastructure, network connectivity, network services, research communities

DOI: 10.17587/it.24.546-552

### References

1. **Allocchio C., Balint L., Berkhout V., Bersee J., Izhvanov Y. et al.** *A History of international research networking: the people who made it happen*, N. Y., Wiley-VCH, 2010, 317 p.

2. **Ryan J.** *A History of the Internet and the digital future*, London, Breaktion Books Ltd., 2015, 248 p.

3. **Lehtisalo K.** *The History of NORDUnet: Twenty-five years of networking cooperation in the Nordic countries*, 2005, available at: <http://www.nordu.net/history/book.html>.

4. **Otchet** о выполнении Государственного задания ФГАУ ГНИИ ИТТ "Информика" на 2017 г. по теме "Обеспечение

функционирования инфраструктуры RUNNet и доступа Минобрнауки России к сети Интернет. Проектирование и подготовка к запуску научных сервисов для обеспечения доступа пользователей к данным и результатам исследований в приоритетных научных областях", Moscow, FGAU GNII ITT "Informika", 2017, 514 p. (in Russian).

5. **Kontseptsiya** функционирования и развития федеральной университетской компьютерной сети RUNNet на 2017–2019 годы (утверждена Минобрнауки России 03 октября 2017 г. № ГТ-90/вн), Moscow, FGAU GNII ITT "Informika", 2017, 33 p. (in Russian).

6. **Izhvanov Yu. L.** Научно-образовательные компьютерные сети. Прошлое, настоящее и тенденции развития (Research and

education computer networks. Past, present and development trends), *Obrazovatel'nye resursy i tekhnologii*, 2017, vol. 2 (19), pp. 17–25 (in Russian).

7. **Official** website of the consortium GÉANT, available at: <http://www.geant.net>.

8. GÉANT Association Compendium of national research and education networking organisations in Europe — 2015 Edition, available at: <https://compendium.geant.org>.

9. **Abramov A. G., Evseev A. V.** Set' RUNNet: navstrechu sovremennym vyzovam sfery telekommunikatsiy v nauke i obrazovanii (Network RUNNet: towards the state-of-the-art challenges in the field of telecommunications in science and education), *Informatizatsiya Obrazovaniya i Nauki*, 2017, vol. 1 (33), pp. 100–115 (in Russian).

10. **Abramov A. G., Evseev A. V.** Analiz potrebnostej organizacij vysshego obrazovaniya Rossii v telekommunikatsionnykh servisakh nauchno-obrazovatel'noy napravlenosti (Analysis of demands of russian organizations of higher education in telecommunication services of scientific and educational direction), *Informatizatsiya Obrazovaniya i Nauki*, 2018, vol. 2 (38), pp. 9–18 (in Russian).

11. **Official** website of the project WLCG, available at: <http://wlcg.web.cern.ch>.

12. **Martelli E., Stancu S.** LHCOPN and LHCONE: status and future evolution, *Journal of Physics: Conference Series*, 2015, vol. 664, available at: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/664/5/052025>.

13. GÉANT Annual Report 2016, available at: <https://ar2016.geant.org>.

14. **Abramov A. G., Vasilyev I. V., Porhachev V. A.** Razvitie infrastruktury autentifikatsii i avtorizatsii dlya udostoverayushchey federatsii v ramkakh proektov eduGAIN i eduroam na baze seti RUNNet (Development of the authentication and authorization infrastructure for the identity federation within the eduGAIN and eduroam projects based on the RUNNet network), *ITNOU: Informatsionnye Tekhnologii v Nauke, Obrazovanii i Upravlenii*, 2017, vol. 4, pp. 56–64 (in Russian).

15. **Abramov A. G.** Oblachnye tekhnologii na osnove otkrytykh programmnykh reshenij v universitetskoj seti RUNNet: opyt razvertyvaniya i jekspluatatsii (Cloud technologies based on open source solutions in the university network RUNNet: experience of deployment and operation), *Informatizatsiya Obrazovaniya i Nauki*, 2016, vol. 1 (29), pp. 106–117 (in Russian).

УДК 004.422

DOI: 10.17587/it.24.553-560

**А. А. Романов**, преподаватель, e-mail: [gloomsfb@gmail.com](mailto:gloomsfb@gmail.com),

**Д. Г. Волчек**, преподаватель, e-mail: [dvolchek@yandex.ru](mailto:dvolchek@yandex.ru),

**Д. И. Муромцев**, канд. техн. наук, доц., зав. каф., e-mail: [mouromtsev@corp.ifmo.ru](mailto:mouromtsev@corp.ifmo.ru),  
Университет ИТМО, Санкт-Петербург

## Семантические технологии в массовых открытых онлайн-курсах: экстракция, обогащение и связывание данных электронных учебных курсов для образовательной платформы Open edX

*Рассматривается проблема, связанная с увеличением количества учебных материалов, которые доступны в открытых онлайн-курсах. Такой рост приводит к снижению качества отдельных ресурсов, усложнению классификации и поиска, что в целом негативно отражается на конечных пользователях. Предлагается решение для платформы Open edX, основанное на принципах семантических технологий и объединяющее в себе экстракцию, обогащение и взаимосвязь учебных данных. Для исследования эффективности метода и внедрения его в учебный процесс были разработаны и протестированы специальные испытательные компоненты.*

**Ключевые слова:** семантическая сеть, образование, связанные данные в образовании, образовательная онтология, электронное образование, семантические технологии в образовании

### Введение

Идея дистанционного образования рассматривается уже достаточно давно [1, 2], и по мере развития информационных технологий эта идея воплощается в жизнь все более успешно. Спектр различных форм, используемых для реализации концепции дистанционного обучения, широк и включает в себя как достаточно примитивные способы (напри-

мер, бумажную переписку, радиотрансляции, телепрограммы), так и более успешные виды (такие как онлайн-обучение), которые обеспечивают быструю и удобную коммуникацию между субъектами образовательного процесса. Онлайн-обучение стало возможным благодаря развитию сети Интернет, росту ее популярности и, соответственно, увеличению числа пользователей. Начиная с середины 90-х годов XX века многие университеты мира продви-