

А. Г. Абрамов¹, канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр., e-mail: abramov@runnet.ru,

А. А. Гончар², зам. директора, e-mail: andrey.gonchar@jscs.ru,

А. В. Евсеев¹, директор, e-mail: evseev@runnet.ru,

Б. М. Шабанов², д-р техн. наук, доц., директор, e-mail: shabanov@jscs.ru,

¹ СПБО МСЦ РАН — филиал ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН,

² МСЦ РАН — филиал ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН

Национальная исследовательская компьютерная сеть нового поколения: текущее состояние и концепция развития¹

Систематизирована актуальная информация о статусе работ по обеспечению текущего функционирования и планах развития Национальной исследовательской компьютерной сети нового поколения (НИКС), созданной в 2019 г. по результатам интеграции отраслевых телекоммуникационных сетей сферы высшего образования и науки России RUNNet и RASNet. Представлены нормативные основания и предпосылки создания в стране единой научно-образовательной сети. Приведены ключевые характеристики ведущих зарубежных национальных научно-образовательных сетей. Обозначены параметры телекоммуникационной инфраструктуры и сетевой связности НИКС по состоянию на текущий момент, примеры сервисов, развиваемых в интересах российского научно-образовательного сообщества. Повышенное внимание уделено представлению основных направлений ускоренного развития НИКС на 2021–2024 гг. и ожидаемых результатов.

Ключевые слова: национальная исследовательская компьютерная сеть нового поколения, НИКС, национальная научно-образовательная сеть, NREN, телекоммуникационная инфраструктура, сетевая связность, сетевые сервисы, концепция развития

Введение

Накопленный многолетний мировой опыт создания и развития глобальных телекоммуникационных сетей подчеркивает значимую роль в этих процессах отраслевых сетей сферы науки и образования. В большинстве стран мира в разные периоды времени были созданы и поступательно совершенствуются специализированные отраслевые сети, за которыми закреплено общепринятое наименование — *национальная научно-образовательная сеть* (National Research and Education Network, NREN) [1–3].

Национальная научно-образовательная сеть — информационно-телекоммуникационная сеть, обладающая повышенными характеристиками в сравнении с функционирующими

сетями общего пользования, высокопроизводительная инфраструктура масштаба страны, которая эксплуатируется в интересах науки и образования, обеспечивает сетевую связность пользователей, межсетевое взаимодействие с зарубежными NREN и консорциумами с повышенными требованиями к качеству сервиса, доступ пользователей в глобальное ИКТ-пространство, а также является ядром развития и провайдером базовых сетевых сервисов, сервисов коллективного пользования и специализированных научно-образовательных сервисов [4, 5].

К основным задачам, решаемым NREN, принято относить также взаимодействие с региональными научно-образовательными сетями страны, организацию связности с публичными сетями и Интернетом, квалифицированную поддержку пользователей, управление операционными аспектами сервисов и финансами, публичность и продвижение [1, 3–5].

¹Работа выполнена в МСЦ РАН в рамках государственного задания № 0580-2021-0014.

Сегодня NREN функционируют (находясь на разных ступенях развития) в качестве неотъемлемых частей национальных информационно-телекоммуникационных инфраструктур (ИТКИ) более чем в 140 странах, обычно координируются государственными органами управления наукой и образованием, представляют страну в международных проектах, при реализации которых используются современные средства телекоммуникаций, сетевые технологии, а также специализированные сервисы.

В связи с обсуждаемой проблематикой достаточно упомянуть широко известные в профессиональном сообществе отраслевые сети США (Internet2, <https://internet2.edu>, и ESnet, <https://es.net>), Германии (DFN, <https://dfn.de>), Франции (RENATER, <https://www.renater.fr>), Нидерландов (SURFnet, <https://surf.nl>), Италии (GARR, <https://garr.it>) и др.

Примером реализуемых глобальных международных ИКТ-проектов является инициатива Еврокомиссии — EOSC (European Open Science Cloud, <https://eosc-portal.eu>), составными компонентами которой являются общеевропейская инфраструктура высокопроизводительных вычислений (PRACE, <https://prace-ri.eu>), инфраструктура национальных научно-образовательных сетей (GÉANT, <https://geant.org>) и широкий спектр сервисов, реализуемых в рамках отдельных проектов (EGI, EUDAT и др.).

В качестве другого примера масштабного технологического проекта можно указать на межконтинентальный транснациональный проект GNA (Global Network Architecture, <https://gna-re.net>), целью которого является развертывание надежной, устойчивой, высокопроизводительной ИТКИ нового поколения для нужд международного сообщества науки и образования.

Среди крупных научно-исследовательских проектов, интенсивно использующих средства ИКТ и реализуемых при участии ученых и исследователей из многих стран мира, включая и РФ, можно упомянуть проекты в области физики высоких энергий и физики частиц на БАК в ЦЕРН, ITER, XFEL, ESRF, DESY, FAIR, Belle II, в области астрофизики и спутниковых наблюдений — EUMETSAT, SKA, NOvA, XENON, LIGO и др.

В иерархии телекоммуникационных сетей науки и образования NREN взаимодействует с аналогичными по функциям зарубежными сетями и наднациональными сетевыми консорциумами, управляет научно-образовательной сетью национального масштаба, осу-

ществляет верхнеуровневое присоединение региональных научно-образовательных сетей страны, предоставляет услуги локальным сетям пользователей [5].

Задачи повышения эффективности реализации международных проектов и взаимной кооперации успешно решают наднациональные объединения — консорциумы научно-образовательных сетей GÉANT (Европа), NORDUnet (Скандинавские страны), Asia@Connect и APAN (Азиатско-Тихоокеанский регион), RedClara (Латинская Америка), AfricaConnect (Африка).

Полезно заметить, что GÉANT представляет собой ассоциацию научно-образовательных сетей европейских стран и является координирующим партнером для одноименной общеевропейской научно-образовательной сети, имеющей пропускную способность магистральной инфраструктуры 100 Гбит/с, объединяющей более 50 млн пользователей из 10 тыс. организаций [6, 7]. Согласно Уставу членами ассоциации могут быть только NREN (юридические лица, в уставные цели которых не входит производственная или коммерческая деятельность) или их ассоциации. Подключение к сети GÉANT без членства в ассоциации возможно лишь значимых для международного научного сотрудничества сетей и организаций, нацеленных на поддержку финансируемых государством исследований и образования.

В настоящей статье рассматриваются существенные основания и предпосылки для создания Национальной исследовательской компьютерной сети нового поколения (НИКС) в качестве NREN России, представляется ход реализации мероприятий по созданию НИКС, фиксируется ее текущее состояние, приводятся и обсуждаются вопросы обеспечения функционирования и планы ускоренного развития проекта на 2021—2024 гг.

1. Нормативные основания и предпосылки создания НИКС в России

Достижение отдельных целей нацпроекта "Наука" (в ближайшей перспективе — нацпроекта "Наука и университеты") предусматривает, в том числе, решение задач создания передовой инфраструктуры научных исследований и разработок, инновационной деятельности, включая создание и развитие сети уникальных научных установок (УНУ) класса "мегасайенс", создания научных центров мирового уровня (НЦМУ), на-

учно-образовательных центров мирового уровня (НОЦ), Центров компетенции Национальной технологической инициативы (ЦК НТИ).

В круг задач нацпроекта входит развитие инфраструктуры и поддержка функционирования распределенной сети центров коллективного пользования научно-технологическим оборудованием (ЦКП), поддержка создания и развития востребованных УНУ, обеспечение доступа исследовательских групп к национальным и зарубежным информационным ресурсам и сервисам, а также участия российских ученых и исследовательских групп в международных проектах, предоставляющих доступ к новым компетенциям и ресурсам организации с учетом национальных интересов.

Представляется вполне очевидным, что в качестве одного из системообразующих компонентов ИТКИ страны, вносящего вклад в решение задач, достижение результатов и ключевых показателей нацпроекта, должна выступать соответствующая современному уровню достижений отрасли специализированная инфраструктура сферы науки и образования.

Положением о Минобрнауки России к сфере его деятельности отнесены, в том числе, функции по оказанию государственных услуг и управлению государственным имуществом в сфере высшего образования, научной, научно-технической и инновационной деятельности, включая деятельность *национальной исследовательской компьютерной сети нового поколения*.

Обращаясь кратко к истории развития научно-образовательных сетей в нашей стране, стоит отметить, что с начала 1990-х гг. при господдержке в рамках федеральных целевых и государственных научных программ, межведомственных и ведомственных программ и проектов создавались отдельные отраслевые телекоммуникационные сети, эксплуатировавшиеся в интересах отдельных научно-образовательных сообществ [5, 8–10].

На первых этапах соответствующие проекты были инициированы и выполнялись преимущественно силами крупных научно-исследовательских и образовательных организаций (МГУ им. М. В. Ломоносова, ФГАУ ГНИИ ИТТ "Информика", НИЦ "Курчатовский институт", МСЦ РАН, ИКИ РАН, Университет "ИТМО") при поддержке различных государственных структур (Минсвязи России, Миннауки России, Госкомвуз, РАН и др.) [8].

Научно-образовательное телекоммуникационное пространство страны строилось в виде

ряда независимых сетей, в значительной степени базировавшихся на собственной (или арендованной) телекоммуникационной инфраструктуре и, при наличии потребности, в собственных же международных каналах. Некоторые из таких сетей изначально задумывались и проектировались как сети общего назначения, другие — как специализированные проблемно-ориентированные сети [5, 8–10].

Примеры таких сетей федерального и регионального уровней: RUNNet (Russian UNiversity Network), RASNet (Russian Academy of Sciences Network), RSSI (Russian Space Science Internet), RBNNet (Russian Backbone Network), RUHEP/Radio-MSU, сеть участников НИЦ "Курчатовский институт" (НИЦ КИ), FREEnet (Москва), RELARN-IP (Москва), ЮМОС (Москва), РОКСОН (Санкт-Петербург), SENet (Республика Татарстан), ПЕРСОНА (Пермский край), сети региональных отделений РАН и т.д. Некоторые сети в той или иной степени функционируют и в настоящее время, другие же выведены из эксплуатации.

Множество разрозненных сетей по своей сути решало аналогичные или близкие задачи для сферы образования и науки, при этом имело место дублирование отдельных функций и параллельное бюджетное финансирование. Попытки создания единой сети национального уровня сложившимся сообществом периодически предпринимались, но необходимого развития соответствующие идеи не получали, в том числе и в силу отсутствия централизованного решения профильных федеральных органов исполнительной власти (ФОИВ).

Такое положение дел, в целом, противоречило мировому опыту создания и эволюции NREN, указывающему на наличие в большинстве стран единой научно-образовательной сети национального уровня, поддерживаемой государством и выполняющей интегрирующие функции в отношении региональных и межрегиональных сетей, включая и проблемно-ориентированные. Можно заметить здесь, что в нескольких странах, в том числе в США и Китае, имеются отдельные крупные, взаимодействующие между собой NREN масштаба страны.

В США (одном из мировых лидеров развития NREN) на протяжении многих лет успешно сосуществуют и сотрудничают друг с другом некоммерческий консорциум компьютерных сетей Internet2 и проблемно-ориентированная сеть ESnet, пропускная способность магистральной инфраструктуры которых составляет

сегодня от 100 до 400 Гбит/с. Целевыми пользователями Internet2 являются университеты, исследовательские институты, некоторые правительственные организации, большинство региональных образовательных сетей. ESnet — сеть, ориентированная на поддержку научных исследований в энергетической отрасли, основными пользователями которой являются национальные лаборатории и технологические центры Минэнерго США.

Подобная модель представляется вполне применимой для нашей страны в условиях создания единой NREN общего назначения и наличия действующей "энергетической" сети НИЦ КИ, эксплуатируемой в интересах российских организаций, вовлеченных в обработку данных экспериментов на БАК (центров уровня Tier-2), а также участия НИЦ КИ в качестве центра уровня Tier-1 в глобальной грид-инфраструктуре Worldwide LHC Computing Grid (WLCG).

Фактически по состоянию на 2018 г. в нашей стране в полноценно функционирующем виде сохранились только две наиболее крупные научно-образовательные сети общего назначения (созданные в своем первоначальном виде еще в 1994 г.): RUNNet — федеральная университетская компьютерная сеть [4, 5, 11] и RASNet — сеть Российской академии наук.

В результате реорганизации в 2018 г. ведомственного учреждения в сфере информатизации образования и науки — ФГАУ ГНИИ ИТТ "Информика", на протяжении многих лет выполнявшего функции оператора сети RUNNet, и последующего разделения Министерства образования и науки Российской Федерации на два ФОИВ, функции управления сетью были переданы в подведомственную Минпросвещения России организацию, для которой деятельность по эксплуатации университетской сети являлась непрофильной.

В соответствии с решениями, совместно принятыми двумя ФОИВ, МСЦ РАН в качестве администратора и оператора сетей RUNNet и RASNet реализовал в 2019 г. комплекс мероприятий по обеспечению бесперебойного функционирования сетей и созданию на их платформе единой NREN России. В ходе работ функции управления объединенной сетью, а также имущество, обязательства и кадровые ресурсы RUNNet были переданы в МСЦ РАН.

НИКС была создана и функционирует в качестве NREN страны, выполняя традиционные для таких сетей функции, в том числе и

на международной арене. НИКС как единая сеть сферы образования и науки нацелена на предоставление научным и образовательным организациям возможностей для выполнения исследований и разработок по приоритетным направлениям научно-технологического развития, участия в российских и международных научных проектах, базирующихся на использовании устойчивой и отвечающей современным требованиям отраслевой сети, интегрированной в инфраструктуру мировых NREN [5].

2. Текущий статус работ по проекту НИКС

В ходе многолетней эксплуатации сетей RUNNet и RASNet сформировалось устойчивое ядро пользователей (организаций науки и высшего образования), активно использующих ее инфраструктуру и сервисы в своей деятельности. По состоянию на 2020 г. НИКС имеет точки присутствия в 34 субъектах РФ, напрямую предоставляя услуги более чем 150 организациям высшего образования и науки, среди которых — федеральные, национальные исследовательские и опорные университеты, ведущие научные центры и институты РАН. К сети подключено 16 крупнейших суперкомпьютерных центров (СКЦ) сферы науки и образования, более 150 ЦКП и более 100 УНУ, другие объекты научной инфраструктуры коллективного пользования.

Функционирование НИКС основано на эксплуатации и развитии глобальной гетерогенной сети передачи данных, обеспечивающей прямое сетевое взаимодействие целевых пользователей, сетевых субъектов и внешних генераторов больших данных. В составе телекоммуникационной инфраструктуры НИКС, как и других сетей аналогичного масштаба и функций, выделяются магистральная (опорная) сетевая инфраструктура, региональная инфраструктура и инфраструктура доступа.

Работу географически распределенной сети обеспечивают 16 маршрутизаторов, 90 узлов связи, выполняющих разные функции и построенных на базе различного телекоммуникационного оборудования. Магистральная инфраструктура НИКС объединяет магистральные телекоммуникационные узлы связи (узлы федерального и регионального уровней и зарубежные), каналы между ними и формирует опорную сеть передачи данных от Амстердама до Хабаровска.

Федеральные узлы связи расположены в Москве и Санкт-Петербурге, объединяются в городах высокоскоростными каналами с полным резервированием. Узлы между городами связаны четырьмя каналами (4×10 Гбит/с), организованными на базе физически независимых магистралей. Федеральные узлы связаны магистральными каналами с региональными магистральными узлами и узлами доступа, с зарубежными NREN, с региональными научно-образовательными сетями страны, а также имеют прямую связность с сетями отдельных коммерческих операторов и Интернетом.

Узлы НИКС, расположенные в некоторых крупных городах страны (Екатеринбург, Курган, Нижний Новгород, Новосибирск, Пермь, Самара, Саратов, Томск, Уфа, Челябинск, Хабаровск), представляют собой магистральные узлы с размещенным телекоммуникационным оборудованием и используются для подключения расположенных в субъектах организаций. Каналы связи между узлами имеют пропускную способность преимущественно от 1 до 10 Гбит/с. Сегмент магистральной инфраструктуры сети в европейской части, связывающий между собой Москву, Нижний Новгород, Пермь, Екатеринбург, Курган, Челябинск, Уфу, Самару и Саратов, представляет собой транспортное "кольцо" с пропускной способностью 10 Гбит/с.

Функционирование магистральной инфраструктуры НИКС за границей основывается на устоявшемся сотрудничестве с сетью NORDUnet (для доступа к ресурсам зарубежных NREN) и межсетевом взаимодействии с несколькими Tier-1-операторами (для доступа в Интернет и межсетевого взаимодействия с отдельными NREN за пределами Европы).

Международные узлы расположены на площадках сети NORDUnet (Стокгольм), Национального института ядерной физики и физики высоких энергий (Амстердам) и СКЦ Финляндии (CSC, Хельсинки). НИКС имеет два независимых подключения к зарубежным NREN — в Хельсинки (к GÉANT) и в Стокгольме (к NORDUnet) с пропускной способностью по 10 Гбит/с.

Выстроенная инфраструктура доступа НИКС позволяет поддерживать работоспособность имеющихся сегментов и осуществлять подключение к умеренно утилизированным участкам инфраструктуры новых пользователей.

Наиболее развитые региональные сегменты НИКС расположены в Москве и Санкт-

Петербурге, где к сети подключено большинство организаций высшего образования, большое число институтов РАН, региональные научно-образовательные сети, ряд организаций культуры и здравоохранения. Инфраструктура доступа основана на использовании собственных (в Москве, >300 км) или арендуемых (в Санкт-Петербурге) волоконно-оптических линиях связи, протянутых до оборудования конечных пользователей. Пропускная способность опорной инфраструктуры сети в городах составляет 10 Гбит/с, подключение пользователей осуществляется, как правило, каналами от 1 до 10 Гбит/с.

В других городах размещения магистральных узлов сети "последние мили" арендуются организациями-пользователями. В городах, где такие узлы отсутствуют, "последние мили", как правило, арендуются или обеспечиваются магистральными операторами связи, у которых заказываются каналы от телекоммуникационных площадок организаций до узлов операторов. В качестве оборудования доступа в составе региональных узлов НИКС используются коммутаторы с портами пропускной способностью 1 и 10 Гбит/с.

В НИКС реализовано прямое подключение сетей ведущих российских исследовательских центров в области физики высоких энергий — участников НИЦ КИ и ОИЯИ (г. Дубна) с пропускной способностью по 10 Гбит/с.

Сеть участвует в межсетевом обмене трафиком на нескольких узлах (AMS-IX, MSK-IX, SPB-IX, NSK-IX, DATA-IX и др.), имеет некоммерческие пиринговые соединения с большинством крупных российских и рядом зарубежных операторов связи (>30 соединений, >200 Гбит/с в сумме).

3. Вопросы обеспечения функционирования и развития НИКС

Приведем здесь для общего понимания современного состояния некоторые существенные особенности передовых NREN мира [6, 7, 10]. Важной характеристикой NREN, в значительной степени определяющей направления и интенсивность развития таких сетей, является их целевая аудитория. Сегодня большинство образовательных и научных организаций во многих странах подключены не к сетям коммерческих операторов связи, а к своим локальным NREN, эксплуатируя их ресурсы и сервисы.

Согласно актуальным данным GÉANT [7] в большинстве стран ЕС практически 100 % университетов и научных организаций подключены к NREN. В последние годы интенсифицировался процесс подключения к сетям начальных и средних школ (составляют уже более 80 % от общего числа организаций-пользователей некоторых сетей). Среди других типов пользователей можно указать на правительственные учреждения, библиотеки, музеи, больницы, организации дополнительного образования.

Отличительными особенностями NREN являются высокая пропускная способность магистральной инфраструктуры, а также специальные требования к качеству предоставляемых сервисов. На сегодняшний день типичные скорости подключения организаций к инфраструктуре NREN составляют от 1 до 10 Гбит/с, при этом около трети европейских университетов подключены к сетям на скорости 10 Гбит/с и выше.

Типичная пропускная способность магистральной инфраструктуры NREN в разных странах Европы кардинально различается, варьируясь в пределах от 1 до 600 Гбит/с. Вместе с тем, для наиболее развитых сетей (>10) этот показатель превышает 100 Гбит/с. Повсеместное использование технологии DWDM позволяет, при возникновении потребностей, наращивать пропускную способность практически в неограниченных пределах.

Для многих NREN специфично наличие собственных или арендованных внутригородских и межгородских ВОЛС, что позволяет увеличивать емкость магистральной сети до необходимых пользователям объемов и оперативно организовывать выделенные высокоскоростные каналы под проекты. Важное значение для обеспечения надежности предоставляемых NREN сервисов (особенно большого масштаба) имеет топология сети, что обуславливает ориентирование на кольцевые топологии с дублирующими путями.

Наличие современной инфраструктуры NREN и ее интенсивная эксплуатация позволяют оптимизировать затраты целевых пользователей на ИКТ-инфраструктуру, услуги передачи данных, использовать в нуждах сферы науки и образования развиваемые на базе NREN специализированные сервисы.

Механизмы финансирования NREN в разных странах различаются: некоторые из сетей целиком финансируются государством, другие в той или иной степени функционируют за

счет своих пользователей, встречается также модель, основанная на нескольких источниках [7]. В любом случае, существенная часть средств прямо или косвенно поступает от государства. Годовой бюджет ведущих NREN европейских стран (в том числе Германии, Великобритании, Нидерландов) в последнее время варьируется в пределах от 40 до 60 млн евро.

В кадровом отношении наиболее укомплектованными в Европе являются NREN Чехии, Великобритании, Хорватии и Нидерландов, чей штат превышает 150 человек [7]. Такой внушительный состав объясняется постоянным расширением сервисного портфеля сетей, что требует привлечения все большего числа квалифицированных сотрудников для их развертывания, внедрения, поддержки и продвижения.

Подчеркнем здесь, что НИКС в своем развитии во многом ориентируется на опыт ведущих мировых NREN и сетевых консорциумов, учитывая, конечно, и российские особенности, в том числе географическую распределенность, неравномерную плотность населения, существенные различия в уровне развития региональных ИКТ-инфраструктур, интенсивности и результативности научно-образовательной деятельности.

Мировое экспертное сообщество ожидает к 2025 г. более чем трехкратного увеличения объемов обрабатываемых NREN научных данных. Реализация в России исследовательских проектов в рамках нацпроекта "Наука", решение задач по повышению доступности и уровня загрузки объектов научной инфраструктуры коллективного пользования ожидаемо приведет к существенному росту объемов генерируемых научных данных, потребует их передачи по сетям и распределенной обработки участниками сложившихся и новых исследовательских коллабораций.

Возрастающие в связи с этим требования со стороны научно-образовательного сообщества могут быть удовлетворены в результате комплексного решения взаимосвязанных задач опережающего развития сетевой инфраструктуры НИКС, увеличения ее пропускной способности и расширения территориального охвата, дальнейшей интенсификации взаимодействия с зарубежными NREN, развития экосистемы сервисов, необходимых для повышения эффективности и результативности научно-технической и образовательной деятельности, в интересах совершенствования телекоммуникационной связности основных участников научного,

научно-технического и инновационного взаимодействия.

Необходимо отметить, что коммерческие операторы связи ориентированы на предоставление услуг на базе стандартных технологических решений с организацией доступа к научным ресурсам и проектам через Интернет (только при наличии такой возможности). НИКС способна обеспечить пользователям существенные преимущества, включая удовлетворение особых требований к характеристикам QoS, уникальную связность с международным научно-образовательным ИКТ-пространством, специализированные сервисы и адресную техническую поддержку.

В состав ключевых мероприятий по развитию НИКС на плановый период (до 2024 г.) включено ускоренное развитие магистральной инфраструктуры сети внутри страны и за рубежом, развитие инфраструктуры доступа, создание региональных центров управления сетью, внедрение и развитие сервисов ИТ коллективного пользования, сервисов защиты инфраструктуры сети и пользователей от распределенных сетевых атак.

В отношении направлений развития магистральной инфраструктуры и инфраструктуры доступа НИКС запланированы:

- ввод в эксплуатацию (модернизация) внутрироссийских магистральных и региональных узлов связи разного типа и состава оборудования;
- ввод в эксплуатацию (модернизация) узлов доступа НИКС внутри страны;
- увеличение пропускной способности и повышение отказоустойчивости каналов связи на направлении Москва — Санкт-Петербург;
- создание отказоустойчивых кольцевых сегментов на территории Сибирского и Дальневосточного федеральных округов, а также в отдельных южных и центральных регионах (с пропускной способностью 10 Гбит/с);
- создание (модернизация) каналов связи на отдельных направлениях внутри страны в целях территориального развития и увеличения пропускной способности магистральной инфраструктуры НИКС, повышения уровня ее региональной доступности для подключения новых пользователей (с пропускной способностью от 10 до 100 Гбит/с);
- ввод в эксплуатацию (модернизация) зарубежных узлов и каналов связи в целях повышения эффективности взаимодействия

с международными исследовательскими центрами и участия в глобальных проектах;

- расширение прямого межсетевого взаимодействия с зарубежными NREN и сетевыми консорциумами;
- модернизация узлов уровня ядра в Москве;
- инсталляция (аренда) городских ВОЛС в Москве, Санкт-Петербурге и ряде других крупных городов страны (от узлов доступа НИКС до пользователей).

В качестве пользователей развиваемой инфраструктурно-сервисной платформы НИКС рассматриваются:

- Минобрнауки России и иные заинтересованные ведомства;
- РАН и отраслевые академии наук;
- научные организации, организации высшего образования, в том числе базовые организации установок класса "мегасайенс", ЦКП, УНУ, СКЦ;
- организации-участницы НОЦ, НЦМУ, ЦК НТИ и других проектов, нацеленных на интенсификацию научно-образовательной и научно-технической деятельности.

Партнерами НИКС могут выступать зарубежные NREN и наднациональные сетевые консорциумы, зарубежные и международные научно-исследовательские центры и научные коллаборации, российские и международные научные фонды и институты развития, агрегаторы крупных хранилищ данных и провайдеры облачных сервисов для сферы науки и образования, производители телекоммуникационного и серверного оборудования и специализированного программного обеспечения.

Управление НИКС, как представляется авторам, должно осуществляться органом управления и координации деятельности (Минобрнауки России), представительным экспертно-координационным советом и администратором НИКС (МСЦ РАН) во взаимодействии с операторами региональных и отраслевых научно-образовательных сетей (в рамках их зон ответственности).

В настоящее время МСЦ РАН продолжает реализацию комплекса организационных и технических мероприятий по формированию единой научно-образовательной сети федерального масштаба с централизованным управлением, включая и мероприятия по верхнеуровневой интеграции в единую инфраструктуру действующих региональных и межрегиональных научно-образовательных сетей и их фрагментов.

В планах работ — предметное взаимодействие с региональными отделениями РАН, научно-образовательными кампусами, ведущими организациями науки и высшего образования страны по вопросам подключения к НИКС, выявления потенциальных потребностей в пропускной способности каналов, локальных требований к СПД, географических и иных особенностей, заинтересованности в сервисных пакетах. Весьма важным вопросом является разработка объективных критериев присоединения организаций к проекту НИКС, а также отчетных показателей, которые позволят оценить эффективность и интенсивность использования ее инфраструктуры и сервисов.

Систематическое представление текущего состояния и планов расширения сервисной платформы НИКС, а также ее совершенствования в части аппаратно-программной основы достойно отдельной публикации. Приведем только несколько примеров эксплуатируемых и развиваемых на базе сети перспективных свободных для использования сервисов с отсылками к работам, в которых можно ознакомиться с их подробным описанием.

Сервис международного роуминга в Wi-Fi сетях (проект eduoam, <https://eduoam.ru>) предоставляет возможности бесплатного доступа в Интернет через зоны Wi-Fi для научно-образовательного сообщества с едиными учетными данными и аутентификацией пользователей на стороне "домашней" организации [12—14].

Сервисы на основе удостоверяющей федерации НИКС RUNNetAAI (<https://runnetaa.ru>) [14, 15], принимающей участие в международном проекте eduGAIN [16, 17], обеспечивают идентификацию участников научно-технического взаимодействия и повсеместный доступ к востребованным научным ресурсам на базе технологий федеративной аутентификации.

Сервис вебинаров НИКС (<https://vc.runnet.ru>) позволяет организовывать и проводить вебинары с предоставлением возможностей ролевого доступа участников к мероприятию в качестве зрителя или модератора, "виртуальной доски", доступа к рабочему столу компьютера, средств обратной связи, создания заметок, анкетирования, проведения опросов и др.

Сервисы сбора, анализа и визуализации статистики по уровню использования телекоммуникационной инфраструктуры сети пользователями для обмена научными данными позволяют наглядно представить объемы обмена, основные направления сетевой связности и выявить

устойчивые исследовательские коллаборации, включая и их зарубежных участников [18].

Принимая во внимание профильную деятельность МСЦ РАН в области суперкомпьютерных технологий, перспективным направлением работ по совершенствованию сервисной платформы НИКС является разработка и внедрение на базе ее инфраструктуры и распределенной сети СКЦ сервисов высокопроизводительных вычислений и искусственного интеллекта [19].

Заключение

К основным, прогнозируемым к концу 2024 г. количественным показателям реализации запланированных мероприятий по развитию НИКС можно отнести:

- расширение территориального охвата, обеспечение присутствия сети во всех федеральных округах и в более 60 субъектах РФ;
- рост производительности сетевой инфраструктуры НИКС (суммарной производительности маршрутизации) — в 3,5...4 раза;
- увеличение пропускной способности магистральной инфраструктуры НИКС (суммарной емкости каналов связи) — в 2,5...3 раза;
- увеличение числа организаций науки и образования, участвующих в обмене данными с использованием инфраструктуры НИКС при выполнении научных исследований и разработок — в 5 раз;
- рост объемов передаваемых научных данных в рамках сетевого взаимодействия российских организаций — в 2,5...3 раза.

В отношении социально-экономических и иных существенных результатов можно рассчитывать, в том числе, на достижение следующих:

- содействие укреплению позиций российской науки в приоритетных научных областях с использованием ресурсов НИКС при реализации на ее базе совместных проектов в рамках внутрироссийского и международного сотрудничества научных и научно-технологических коллабораций;
- поддержка интенсификации и осуществление перехода к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, включая создание систем обработки данных больших объемов, машинного обучения и искусственного интеллекта, которые позволят получить значимые результаты в приоритетах НТР;

- внесение вклада в достижение целей и показателей нацпроекта "Наука" в части задач развития передовой инфраструктуры научных исследований и разработок, развития научной инфраструктуры коллективного пользования, создания НОЦ, НЦМУ, ЦК НТИ путем обеспечения производительной и надежной сетевой связности и предоставления уникальных сервисов;
- обеспечение высокоскоростной связности региональных научных центров для целей эффективного обмена научными данными с оптимизацией затрат на эксплуатацию посредством предоставления ресурсов НИКС в интересах создаваемой географически распределенной передовой инфраструктуры исследований и разработок, решения задач пространственного развития страны и опережающего развития приоритетных территорий;
- предоставление возможностей для прагматически обоснованной интеграции участников научно-технического процесса в международное научное ИКТ-пространство, в инфраструктуру мировых NREN, обеспечивающую доступ к новым компетенциям, идеям и технологиям, вносящую вклад в формирование интернациональной научной среды, устойчивой кооперации с мировым сообществом с учетом национальных интересов;
- разработка на базе НИКС единых политик, регламентов и организационно-технических решений, нацеленных на обеспечение информбезопасности и устойчивого функционирования ИТКИ сферы науки и образования, способных внести вклад в противодействие новым вызовам и угрозам, препятствующим решению задачи построения цифровой экономики.

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. **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>.
3. **GEANT: The Case for NRENs.** A Repository of Resources to Support Funding, Advocacy and the Advancement of National and Regional R&E Networks. URL: <https://www.caseforrens.org>.
4. **Абрамов А. Г., Евсеев А. В.** RUNNet как национальная научно-образовательная сеть России: цели, основные задачи, телекоммуникационная инфраструктура и сервисы // Информатизация образования и науки. 2018. № 4. С. 3—15.

5. **Абрамов А. Г., Евсеев А. В.** Концептуальные аспекты создания в Российской Федерации национальной исследовательской компьютерной сети нового поколения // Информационные технологии. 2019. № 12. С. 724—733.
6. **Абрамов А. Г.** Панъевропейский научно-образовательный сетевой консорциум GEANT: особенности инфраструктуры, ключевые проекты и сервисы // Информационные технологии. 2018. № 8. С. 546—553.
7. **GEANT Compendium of National Research and Education Networks in Europe — 2019 Edition.** URL: <https://compendium.geant.org> (дата обращения: 13.11.2020).
8. **Васенин В. А.** Российские академические сети и Internet (Состояние, проблемы, решения). М.: РЭФИА, 1997. 173 с.
9. **Иванников А., Кривошеев А., Куракин Д.** Развитие сети телекоммуникаций в системе высшего образования Российской Федерации // Высшее образование в России. 1995. № 2. С. 87.
10. **Ижванов Ю. Л.** Научно-образовательные компьютерные сети. Прошлое, настоящее и тенденции развития // Образовательные ресурсы и технологии. 2017. № 2. С. 17—25.
11. **Абрамов А. Г., Евсеев А. В.** Сеть RUNNet: навстречу современным вызовам сферы телекоммуникаций в науке и образовании // Информатизация образования и науки. 2017. № 1. С. 100—115.
12. **Wierenga K., Florio L.** Eduroam: Past, present and future // Computational Methods in Science and Technology. 2005. Vol. 11(2). P. 169—173.
13. **Абрамов А. Г., Васильев И. В., Морин Ю. Н., Овсянников А. П., Порхачев В. А.** Вопросы совершенствования российского сегмента сервиса роуминга в беспроводных сетях eduroam в условиях интеграции научно-образовательных сетей RUNNet и RASNet // Труды научно-исследовательского института системных исследований РАН. 2019. № 6. С. 67—76.
14. **Абрамов А. Г., Васильев И. В., Порхачев В. А.** Развитие инфраструктуры аутентификации и авторизации для удостоверяющей федерации в рамках проектов eduGAIN и eduroam на базе сети RUNNet // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. 2017. № 4. С. 56—64.
15. **Абрамов А. Г., Васильев И. В., Порхачев В. А.** Принципы функционирования и управления удостоверяющей федерацией RUNNetAAI в рамках интерфедеративного взаимодействия с проектом eduGAIN // Информатизация образования и науки. 2019. № 2. С. 40—47.
16. **Официальный сайт проекта eduGAIN.** URL: <https://edugain.org> (дата обращения: 13.11.2020).
17. **Hämmerle L., Sabatino R., Lenggenhager T. et al.** GN4-1 White Paper: Comparison of Authentication and Authorisation Infrastructures for Research. URL: https://www.geant.org/Resources/Documents/Comparison-of-AAIs-for-Research_White-Paper_v1.0.pdf (дата обращения: 13.11.2020).
18. **Абрамов А. Г., Евсеев А. В.** Мониторинг активности пользователей научно-образовательной сети России RUNNet в межсетевом взаимодействии: методики, инструментарий, результаты // Информатизация образования и науки. 2018. № 3. С. 34—49.
19. **Савин Г. И., Шабанов Б. М., Баранов А. В., Гончар А. А., Овсянников А. П.** Об использовании федеральной научной телекоммуникационной инфраструктуры для суперкомпьютерных вычислений // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Вычислительная математика и информатика. 2020. № 1. С. 20—35.

A. G. Abramov¹, Ph. D., Leading Researcher, e-mail: abramov@runnet.ru,

A. A. Gonchar², Deputy Director, e-mail: andrey.gonchar@jscc.ru,

A. V. Evseev¹, Director, e-mail: evseev@runnet.ru,

B. M. Shabanov², Dr. Tech. Sci., Director, e-mail: shabanov@jscc.ru,

¹ St. Petersburg Department of Joint Supercomputer Center of the RAS,

² Joint Supercomputer Center of the RAS Branch of FSI "Scientific Research Institute for System Analysis of the RAS"

The New Generation National Research Computer Network: Current Status and Concept for the Development

The paper systematized up-to-date information on the status of work to ensure the functioning and development plans of the new generation National Research Computer Network (NIKS), created in 2019 according to the results of integration of RUNNet and RASNet — telecommunication networks in the fields of higher education and science of Russia. The normative grounds and prerequisites for the creation of a unified research and education network in the country are presented. The key characteristics of leading foreign national research and education networks are given. The parameters of the telecommunications infrastructure and network connectivity of NIKS as of the current moment, examples of services developed in the interests of the Russian R&E community are indicated. Special attention is paid to the presentation of the main directions of the accelerated development of NIKS for 2021-2024 and expected results.

Keywords: new generation national research computer network, NIKS, national research and education network, NREN, telecommunication infrastructure, network connectivity, network services, concept for the development

Acknowledgements: The work was carried out at the MSC RAS within the framework of state assignment No. 0580-2021-0014.

DOI: 10.17587/it.27.115-124

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. Lehtisalo K. The History of NORDUnet: Twenty-five years of networking cooperation in the Nordic countries, available at: <http://www.nordu.net/history/book.html>.
3. GEANT: The Case for NRENS. A Repository of Resources to Support Funding, Advocacy and the Advancement of National and Regional R&E Networks, available at: <https://www.caseforrens.org>.
4. Abramov A. G., Evseev A. V. RUNNet as a national research and education network of Russia: goals, main tasks, telecommunication infrastructure and services, *Informatizatsiya Obrazovaniya i Nauki*, 2018, vol. 4, pp. 3–15 (in Russian).
5. Abramov A. G., Evseev A. V. Conceptual aspects of creating a new generation national research computer network in the Russian Federation, *Informatsionnyye Tehnologii*, 2019, vol. 2, pp. 724–733 (in Russian).
6. Abramov A. G. Pan-European research and education network consortium GEANT: infrastructure features, key projects and services, *Informatsionnyye Tehnologii*, 2018, vol. 8, pp. 546–553 (in Russian).
7. GEANT Compendium of National Research and Education Networks in Europe 2019 Edition, available at: <https://compendium.geant.org>, available at: (date of access: 13.11.20)
8. Vasenin V. A. *Russian academic networks and Internet (Status, problems, solutions)*. Moscow, REFIA, 1997, 173 p. (in Russian).
9. Ivannikov A., Krivosheev A., Kurakin D. Development of the telecommunications network in the higher education system of the Russian Federation, *Vysshhee Obrazovanie v Rossii*, 1995, no. 2, pp. 87 (in Russian).
10. Izhvanov Yu. L. Research and education computer networks. Past, present and development trends, *Obrazovatel'nye resursy i tekhnologii*, 2017, vol. 2, pp. 17–25 (in Russian).
11. Abramov A. G., Evseev A. V. 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, pp. 100–115 (in Russian).
12. Wierenga K., Florio L. Eduroam: Past, present and future, *Computational Methods in Science and Technology*, 2005, vol. 11(2), pp. 169–173.
13. Abramov A. G., Vasilyev I. V., Morin Yu. N., Ovsyannikov A. P., Porhachev V. A. Issues of improving the Russian segment of the roaming service in wireless eduroam networks in the context of the integration of RUNNet and RASNet research and education networks, *Proceedings of the Scientific Research Institute for System Analyses of the Russian Academy of Sciences*, 2019, no. 6, pp. 67–76 (in Russian).
14. Abramov A. G., Vasilyev I. V., Porhachev V. A. Development of the authentication and authorization infrastructure for the identity federation within the eduGAIN and eduroam projects based on the RUNNet network, *ITNOU: Informatsionnyye Tekhnologii v Nauke, Obrazovanii i Upravlenii*, 2017, vol. 4, pp. 56–64 (in Russian).
15. Abramov A. G., Vasilyev I. V., Porhachev V. A. Principles of functioning and management of the identity federation RUNNetAAI in the framework of interfederal interaction with the eduGAIN project, *Informatizatsiya Obrazovaniya i Nauki*, 2019, no. 2, pp. 40–47 (in Russian).
16. Official site of the project eduGAIN, available at: <https://edugain.org> (date of access: 13.11.20)
17. Hämmerle L., Sabatino R., Lenggenhager T. et al. GN4-1 White Paper: Comparison of Authentication and Authorisation Infrastructures for Research., available at: https://www.geant.org/Resources/Documents/Comparison-of-AAIs-for-Research_White-Paper_v1.0.pdf (date of access: 13.11.20)
18. Abramov A. G., Evseev A. V. Monitoring of user activity of the Russian research and education network RUNNet in inter-network interaction: methods, tools and result, *Informatizatsiya Obrazovaniya i Nauki*, 2018, vol. 3, pp. 34–49 (in Russian).
19. Savin G. I., Shabanov B. M., Baranov A. V., Gonchar A. A., Ovsyannikov A. P. On the use of the federal research telecommunications infrastructure for supercomputer computing, *Bulletin of the South Ural State University. Series: Computational Mathematics and Informatics*, 2020, no. 1, pp. 20–35 (in Russian).