

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ COMPUTING SYSTEMS AND NETWORKS

УДК 004.7, 001.83

DOI: 10.17587/it.31.35-41

А. Г. Абрамов, канд. физ.-мат. наук, начальник отдела, e-mail: abramov@niks.su,
А. А. Гончар, зам. руководителя Объединенного вычислительного кластера, e-mail: gonchar@niks.su,
А. В. Евсеев, руководитель Центра управления национальной исследовательской сетью,
e-mail: evseev@niks.su,
Б. М. Шабанов, д-р техн. наук, чл.-корр. РАН, заместитель директора, e-mail: shabanov@jssc.ru,
Национальный исследовательский центр "Курчатовский институт"

Результаты развития национальной исследовательской компьютерной сети России в рамках нацпроекта "Наука и университеты" в 2021—2024 гг.*

Приводятся и обсуждаются основные результаты выполненных в период 2021—2024 гг. в рамках национального проекта "Наука и университеты" работ по развитию национальной исследовательской компьютерной сети России (НИКС). Рассматриваются реализованные мероприятия по расширению территориальной доступности и увеличению пропускной способности магистральной инфраструктуры, обеспечению высокоскоростной и надежной отраслевой сетевой связности, подключению к сети ведущих научных и образовательных организаций высшего образования страны. Представлена динамика развития магистральной инфраструктуры сети, регионального охвата, поэтапного прироста числа подключенных организаций и некоторые другие статистические сведения о пользовательской базе. Обсуждаются перспективы и возможные направления дальнейшего развития НИКС.

Ключевые слова: национальная исследовательская компьютерная сеть, НИКС, РДИГ, национальная научно-образовательная сеть, магистральная инфраструктура, пропускная способность, территориальная доступность, ведущие научные и образовательные организации

Введение

В последние десятилетия наблюдается постоянный прогресс в развитии глобальных информационно-телекоммуникационных сетей, разрабатываются и все более массово используются предоставляемые на их основе приложения и сервисы, возрастает общая цифровая зависимость большинства отраслей материального производства, социально-культурной ориентации, сектора услуг.

В этих условиях особое место как в историческом контексте, так и в современных реалиях занимают специализированные отраслевые сети науки и образования. Такие

инфраструктурные решения могут иметь разные масштабы и охват, связывая кампусные сети организаций, сети научных и/или образовательных организаций города или региона, а также могут иметь различные специализации: быть проблемно-ориентированными, функционирующими в интересах отдельных научных направлений (например, физика элементарных частиц, астрономия, мониторинговые наблюдения, геномные исследования), или универсальными, не "привязанными" к конкретному направлению [1].

В отношении универсальных сетей, связывающих научные и образовательные организации конкретной страны независимо от их специализации, принято использовать термин "национальная научно-образовательная сеть" (ННОС, англ. — National Research and Education Networks) (см., например, работы [2—4]). Межсетевое взаимодействие таких сетей может реализовываться как непосредственно между

*Публикация подготовлена в рамках государственного задания НИЦ "Курчатовский институт" по теме № FNEF-2024-0014. Работа выполнена при поддержке Центра коллективного пользования "Национальная исследовательская компьютерная сеть" (код: 3576270).

двумя странами, так и на организационно-технологической основе действующих ассоциаций ННОС уровня межгосударственных объединений, частей света или континентов [3, 5].

В нашей стране с начала 1990-х гг. при поддержке разных федеральных и региональных органов исполнительной власти и госкорпораций и при участии ведущих научных центров и университетов реализовывались проекты по созданию проблемно-ориентированных сетей и сетей уровня отдельных субъектов и крупных городов, проектируемых и строящихся в значительной степени независимо, в том числе в части телекоммуникационной инфраструктуры и принципов организации международной связности [6–9].

Процессы, направленные на создание единой универсальной отраслевой сети, функционирующей на принципах ННОС и решающей соответствующие типовые задачи, активизировались в конце 2010-х гг. В 2019–2020 гг. Межведомственный суперкомпьютерный центр РАН – филиал ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН (МСЦ РАН) по поручению Минобрнауки России реализовал мероприятия по интеграции двух крупнейших отраслевых сетей (университетской сети RUNNet и сети отделений РАН RASNet) в единую информационно-коммуникационную (ИКТ) инфраструктуру и созданию национальной исследовательской компьютерной сети (НИКС) [9, 10].

В 2021–2023 гг. МСЦ РАН в качестве администратора НИКС выполнил поэтапный проект по развитию сети в соответствии с утвержденной Минобрнауки России концепцией и дорожной картой. Работы проводились за счет средств федерального проекта "Развитие инфраструктуры для научных исследований и подготовки кадров" национального проекта "Наука и университеты" (далее – федеральный проект) [2, 9–12].

В федеральном проекте обозначена задача по осуществлению развития НИКС в интересах научных и образовательных организаций высшего образования, в том числе в целях обеспечения доступа к передовой научной инфраструктуре коллективного пользования посредством увеличения пропускной способности магистральной инфраструктуры, территориальной доступности и набора сервисов сети. Основные мероприятия и результаты первых двух лет реализации проекта подробно обсуждены в работе [12].

Во исполнение Распоряжения Правительства РФ от 7 февраля 2023 г. № 268-р, в рамках которого ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН был включен в перечень организаций, в отношении ко-

торых полномочия учредителя и собственника осуществляется НИЦ "Курчатовский институт" (НИЦ КИ), обеспечивается передача функций администратора НИКС в ответственные за проект подразделения НИЦ КИ – Отделение межведомственного суперкомпьютерного центра Объединенного вычислительного кластера (ранее МСЦ РАН, г. Москва) и Центр управления НИКС (СПбО МСЦ РАН, г. Санкт-Петербург).

Таким образом, с 2024 г. работы по обеспечению эксплуатации и развитию НИКС с сохранением преемственности в отношении организационного, технологического и кадрового обеспечения проекта выполняются НИЦ КИ в полном объеме.

Примером крупного проблемно-ориентированного научного проекта, интенсивно использующего средства телекоммуникаций и исторически координируемого НИЦ КИ, является консорциум РДИГ (российский ГРИД для интенсивных операций с данными, англ. – Russian Data Intensive GRID, RDIG). Консорциум был создан в 2003 г. для обеспечения полномасштабного участия России в распределенной обработке данных экспериментов на Большом адронном коллайдере и представляет собой региональный сегмент международной научной инфраструктуры для установок класса мегасайенс [13, 14]. РДИГ обладает сегодня ресурсами в объеме более 50 тыс. вычислительных ядер и 120 ПБ массивов хранения (более 90 % представляют НИЦ КИ и Объединенный институт ядерных исследований, ОИЯИ).

Телекоммуникационная инфраструктура РДИГ состоит из российского и зарубежного компонентов. Ключевые опорные узлы связи российского компонента размещены на площадках в Москве и Санкт-Петербурге. Расположенные в НИЦ КИ и ОИЯИ центры уровня Tier-1 связаны несколькими резервированными каналами емкостью по 100 Гбит/с. К опорным узлам каналами на скорости 10 Гбит/с подключены отдельные участники НИЦ КИ, задействованные в проекте в качестве центров уровня Tier-2. Участвующие в РДИГ институты РАН (ИЯИ РАН, ИЯФ СО РАН) и университеты (МИФИ, СПбГУ, СарФТИ) являются пользователями НИКС и осуществляют обмен данными с сетью НИЦ КИ через действующий пириングовый стык.

За рубежом реализованы кольцевая связность на направлении Москва – Амстердам – Женева – Москва (100 Гбит/с), резервированные каналы Москва – Амстердам (2·100 Гбит/с), сетевое взаимодействие с науч-

но-образовательными консорциумами GÉANT и NORDUnet и отдельными ННОС.

В настоящей статье обсуждаются основные результаты работ по развитию НИКС в рамках национального проекта "Наука и университеты" в составе мероприятий по расширению территориальной доступности и увеличению пропускной способности магистральной инфраструктуры, подключению к сети ведущих научных и образовательных организаций. Специальное внимание уделено перспективам дальнейшего развития НИКС, в том числе вопросам интеграции НИКС и РДИГ.

1. Расширение территориальной доступности и увеличение пропускной способности магистральной инфраструктуры НИКС

Сеть передачи данных НИКС предназначена для предоставления транспортной инфраструктуры в целях обеспечения научно-образовательной связности, под которой понимается высокоскоростная внутрироссийская телекоммуникационная связность научных и образовательных организаций высшего образования, региональных отраслевых сетей, других целевых пользователей, и обеспечения доступа подключенных к сети организаций к размещенным в ней научным и образовательным ресурсам и сервисам, равно как и к ресурсам отдельных международных ННОС. Иерархическая сеть состоит из магистральных узлов и каналов связи, а также узлов и сети доступа.

Задачи увеличения пропускной способности магистральной инфраструктуры и расширения территориальной доступности НИКС решались на всех этапах выполнения проекта путем построения новых и модернизации существующих магистральных узлов связи в городах страны со значимым научным и образовательным потенциалом, с установкой нового и/или заменой устаревшего оборудования маршрутизации и коммутации. Реализованная производительность магистральных узлов связи составляет в настоящее время от 400 до 2400 Гбит/с.

Схемы магистральной инфраструктуры НИКС по состоянию на конец 2020 г. и планируемая к построению на конец 2024 г. показаны на рис. 1 (см. вторую сторону обложки) и 2 (см. третью сторону обложки), соответственно.

В процессе выполнения работ по национальному проекту общая протяженность магистральной инфраструктуры сети от Санкт-Петербурга до Владивостока возросла до

20 тыс. км. В 2021–2024 гг. поэтапно были построены и введены в эксплуатацию новые магистральные узлы связи с разным составом и характеристиками сетевого оборудования в городах Владивосток, Иркутск, Казань, Краснодар, Красноярск, Новосибирск, Ростов-на-Дону (2021 г.), Владимир, Сочи, Ставрополь, Тюмень (2022 г.), Архангельск, Барнаул, Благовещенск, Белгород, Кемерово, Обнинск, Симферополь (2023 г.), Севастополь (2024 г.).

Модернизации подверглись магистральные узлы связи и узлы доступа в Москве и Санкт-Петербурге, магистральные узлы в Новосибирске (в центральной части города и в Академгородке), Томске, Хабаровске, а также большинство узлов функционирующего с 2014 г. "Европейского кольца" (в городах Нижний Новгород, Казань, Пермь, Екатеринбург, Курган, Челябинск, Уфа, Самара, Саратов).

Отказоустойчивость сети была повышена за счет формирования новых кольцевых сегментов магистральной инфраструктуры с пропускной способностью 1...10 Гбит/с на юге России ("Южное кольцо", соединяющее города Ростов-на-Дону, Краснодар, Ставрополь), в Западной Сибири ("Малое Сибирское кольцо", соединяющее города Новосибирск, Томск, Кемерово, Барнаул), в Центральной и Восточной Сибири и на Дальнем Востоке ("Сибирско-Восточное кольцо", соединяющее города Новосибирск, Кемерово, Красноярск, Хабаровск, Благовещенск, Иркутск).

В результате проведенных в течение четырех лет работ по развитию НИКС было осуществлено повышение пропускной способности до 2·100 Гбит/с на наиболее нагруженном направлении Москва—Санкт-Петербург, реализован хордовое резервирование кольцевых магистральных инфраструктур (Москва—Екатеринбург, Екатеринбург—Новосибирск), организован ряд новых линейных каналов передачи данных для подключения пользователей и повышена пропускная способность некоторых существовавших ранее каналов.

Суммарный объем передаваемых по сети данных постоянно растет и в настоящее время превышает 100 ПБ в год.

2. Подключение к НИКС ведущих научных и образовательных организаций России

В федеральном проекте "Развитие инфраструктуры для научных исследований и подготовки кадров" определен количественный результат развития НИКС — процент под-

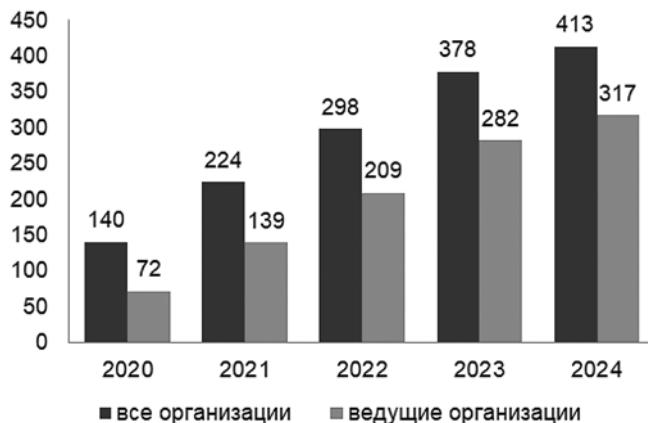


Рис. 3. Число пользователей НИКС (все научные организации и организации высшего образования с выделением ведущих) по годам

ключенных ведущих научных организаций и образовательных организаций высшего образования (40 %, 60 %, 80 % и 90 % на конец 2021–2024 гг., соответственно) и пять критерий отнесения организаций к ведущим [10, 11].

Рис. 3 демонстрирует поэтапный прирост числа подключенных к НИКС организаций (всех и отдельно — ведущих) в период выполнения работ в рамках национального проекта. К концу 2024 г. к сети будет подключено не менее 317 из 347 ведущих организаций, а общая пользовательская база превысит 410 организаций.

Следует заметить, что в 2023–2024 гг. было осуществлено подключение к НИКС отдельных университетов, расположенных на новых территориях.

Рис. 4, 5 (см. третью сторону обложки) визуализируют достигнутое при реализации проекта развития сети существенное расширение территориальной доступности, синим цветом окрашены субъекты присутствия целевых пользователей НИКС по состоянию на конец 2020 и 2024 гг. Сеть предоставляет свои услуги на территориях 63 субъектов (по состоянию на конец 2020 г. их было 35).

Распределение ведущих организаций-пользователей НИКС по субъектам РФ приведено на рис. 6 (с "отсечкой" в пять организаций), и можно отметить, что это распределение является существенно неравномерным, в целом отражающим реальную картину концентрации научного и образовательного потенциала в регионах [10]. Наибольшее представительство со значительным отрывом друг от друга и от остальных — в Москве и Санкт-Петербурге, далее следуют Новосибирская, Московская и Свердловская области, в которых насчитываются больше десяти пользователей.

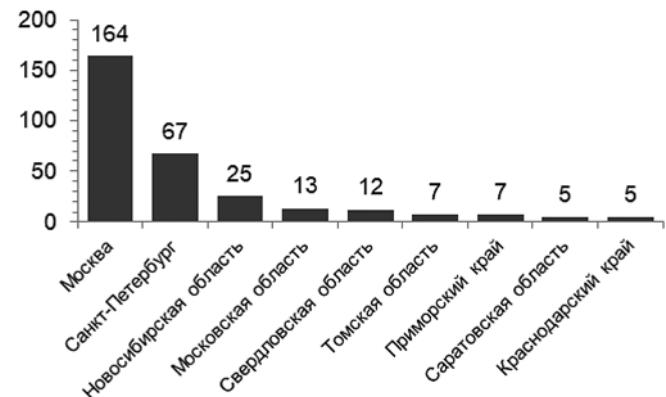


Рис. 6. Распределение пользователей НИКС по субъектам РФ

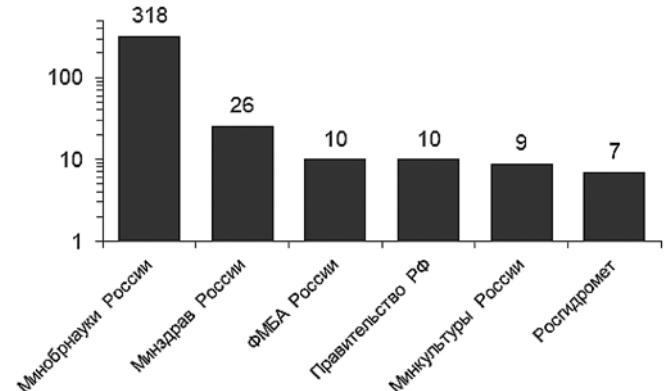


Рис. 7. Распределение пользователей НИКС по учредителям

Учредителями ведущих организаций являются 23 федеральных органа исполнительной власти, распределение по которым с указанием только части ведомств с наибольшим числом показано на рис. 7.

Сеть связывает все существующие в стране суперкомпьютерные центры (СКЦ) сферы науки и образования с пиковой производительностью более 100 ТФлопс, которые функционируют как центры коллективного пользования. НИКС объединяет национальную сеть СКЦ, в которую входят центры в МГУ имени М. В. Ломоносова, НИЦ "Курчатовский институт", ОИЯИ, СПбПУ, ИВМиМГ СО РАН, ННГУ им. Н. И. Лобачевского, ЮУрГУ и др., обеспечивая возможности высокопроизводительного обмена данными.

3. Перспективы и возможные направления дальнейшего развития НИКС

В структуре нового национального проекта "Экономика данных и цифровая трансформация государства" на 2025–2030 гг. прорабатываются направления и мероприятия, предлагающие, в том числе, развитие национальной инфраструктуры вычислений, хранения и

передачи данных, технологий искусственного интеллекта, квантовых вычислений, обеспечение информационной безопасности, поддержку проведения научных исследований и новых разработок в области ИКТ и их внедрения, развитие кадрового потенциала отрасли. Отдельные направления могут эффективно за-действовать существующие возможности инфраструктурно-сервисной платформы НИКС.

В качестве обоснований для дальнейшего развития НИКС, в том числе для внесения вклада в достижение целей национального проекта, могут рассматриваться ожидаемый рост объемов передаваемых данных в результате проведения исследований в приоритетных научных областях, неспособность в полном объеме удовлетворить потребности по передаче данных, формируемые действующими и создаваемыми отечественными установками класса мегасайенс, и по обеспечению надежного высокоскоростного доступа к ним участников внутрироссийских и международных научных колабораций.

В отношении модернизации инфраструктуры и сервисов требуется организация резервирования активного оборудования маршрутизации и коммутации на ряде критических магистральных узлов связи НИКС, оперативное и квалифицированное реагирование на рост угроз в области информационной безопасности для повышения защищенности инфраструктуры сферы науки и высшего образования, разработка, внедрение и широкое предоставление потенциально востребованных сервисных решений, включая облачные и специализированные для научных сотрудников, преподавателей и учащихся.

Эффективному решению обозначенных задач может способствовать интеграция НИКС и РДИГ с созданием на объединенной базе единой глобальной национальной исследовательской ИКТ-инфраструктуры, ориентированной на передачу по сетям, хранение и обработку данных проектов "мегасайенс" и других значимых научных проектов, выполняемых ведущими научными и образовательными организациями страны.

В отношении совершенствования инфраструктуры предлагается рассмотреть поэтапное расширение магистральных каналов на наиболее нагруженных направлениях до 100...400 Гбит/с, увеличение пропускных способностей каналов доступа отдельных пользователей, вовлеченных в интенсивный обмен научными данными, вплоть до 10 Гбит/с.

Принимая во внимание поставленную руководством страны задачу увеличения к 2030 г. совокупной мощности отечественных суперкомпьютеров минимум на порядок и тот факт, что основные СКЦ сферы науки и образования подключены к НИКС, увеличение вычислительных мощностей не может не сопровождаться интенсивным развитием территориально распределенной сети СКЦ. В условиях роста производительности действующих и вновь создаваемых СКЦ решение задач по обеспечению повсеместной доступности вычислительных ресурсов широкому кругу исследователей должно включать и совершенствование магистральной связности НИКС с подключением центров к сети со скоростями выше 10 Гбит/с.

Целесообразным представляется продолжение мероприятий по верхнеуровневой интеграции в инфраструктуру НИКС региональных научно-образовательных и кампусных сетей с учетом имеющегося опыта [1] и проработанных механизмов организационного и технического взаимодействия.

В целом, ресурсы проекта в перспективе могут быть сфокусированы на организациях и устойчивых исследовательских колаборациях, реально использующих и/или заинтересованных в сервисах НИКС. Основной акцент целесообразно сделать на ключевых объектах научно-технологической инфраструктуры страны — наукоградах, инновационных научно-технологических центрах и территориальных кластерах, центрах компетенции Национальной технологической инициативы, научных и научно-образовательных центрах мирового уровня, математических центрах и центрах геномных исследований мирового уровня, центрах трансфера технологий, инжиниринговых центрах, отдельных центрах коллективного пользования, в первую очередь суперкомпьютерных, и др. Востребованным направлением работ может быть обеспечение научно-образовательной связности для строящихся университетских кампусов.

Большая часть базовых организаций, участников перечисленных проектов и операторов объектов научно-технологической инфраструктуры, уже имеют подключение к НИКС. Вместе с тем, возможность подключения может быть рассмотрена для вновь создаваемых объектов, а также для организаций, которые не удовлетворили критериям в отношении ведущих, определенным ранее в национальном проекте "Наука и университеты".

В качестве основного направления развития НИКС в контексте расширения междуна-

родного сотрудничества с учетом национальных интересов рассматривается организация и проведение интеграционных мероприятий с ННОС государств-участников ЕАЭС, ШОС, БРИКС и других дружественных стран.

Примером реализуемой на базе инфраструктуры НИКС содержательной научно-технологической инициативы является проект создания межуниверситетской квантовой сети (МУКС) в качестве масштабируемой инфраструктуры для исследований и разработок, способной передавать квантовые состояния по линиям связи для квантового распределения ключей, а в будущем и для реализации распределенных квантовых вычислений, объединения квантовых объектов [15]. Проект выполняется НИЦ КИ при участии ведущих российских университетов-пользователей НИКС, проводящих НИОКР или подготовку специалистов в области квантовых технологий, а его пилотная часть рассчитана на 2024 г.

Список литературы

1. Абрамов А. Г., Гончар А. А., Евсеев А. В., Шабанов Б. М. Опыт интеграции региональных научно-образовательных сетей в национальную исследовательскую компьютерную сеть России на примере проекта РОКСОН // Информационные технологии. 2023. № 12. С. 615–621. DOI: 10.17587/it.29.615-621.
2. McClure C. R., Bishop A. P., Doty P., Rosenbaum H. The National Research and Education Network (NREN): Research and Policy Perspectives. Praeger, 1991. 758 p.
3. Allocchio C., Balint L., Berkout 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.
4. Абрамов А. Г., Евсеев А. В. Концептуальные аспекты создания в Российской Федерации национальной исследовательской компьютерной сети нового поколения //
5. Абрамов А. Г. Панъевропейский научно-образовательный сетевой консорциум GÉANT: особенности инфраструктуры, ключевые проекты и сервисы // Информационные технологии. 2018. № 8. С. 546–553. DOI: 10.17587/it.24.546-553.
6. Иваников А., Кривошеев А., Куракин Д. Развитие сети телекоммуникаций в системе высшего образования Российской Федерации // Высшее образование в России. 1995. № 2. С. 87.
7. Васенин В. А. Российские академические сети и Internet (Состояние, проблемы, решения). М.: РЭФИА, 1997. 173 с.
8. Ижванов Ю. Л. Научно-образовательные компьютерные сети. Прошлое, настоящее и тенденции развития // Образовательные ресурсы и технологии. 2017. № 2. С. 17–25.
9. Абрамов А. Г., Гончар А. А., Евсеев А. В., Шабанов Б. М. Национальная исследовательская компьютерная сеть нового поколения: текущее состояние и концепция развития // Информационные технологии. 2021. № 3. С. 115–124. DOI: 10.17587/it.27.115-124.
10. Абрамов А. Г., Гончар А. А., Евсеев А. В., Шабанов Б. М. Разработка критериев подключения научных и образовательных организаций к Национальной исследовательской компьютерной сети // Информационные технологии и вычислительные системы. 2021. № 2. С. 22–33. DOI: 10.14357/20718632210203.
11. Абрамов А. Г., Евсеев А. В., Гончар А. А., Шабанов Б. М. Вопросы увеличения пропускной способности и территориальной доступности национальной исследовательской компьютерной сети России // Системы и средства информатики. 2022. № 2(32). С. 4–12. DOI: 10.14357/08696527220201.
12. Абрамов А. Г., Гончар А. А., Евсеев А. В., Шабанов Б. М. Основные результаты первых этапов проекта развития национальной исследовательской компьютерной сети // Информационные технологии и вычислительные системы. 2024. № 1. С. 3–10. DOI: 10.14357/20718632240101.
13. Ильин В., Кореньков В., Солдатов А. Российский сегмент глобальной инфраструктуры LCG // Открытые системы. 2003. № 1 С. 56–60.
14. Кореньков В. В. Грид-технологии: статус и перспективы // Вестник Международной академии наук (Русская секция). 2010. № 1. С. 41–44.
15. Овсянников А. П., Шабанов Б. М. О проекте межуниверситетской квантовой сети // Программные продукты и системы. 2023. Т. 36, № 4. С. 695–702. DOI: 10.15827/0236-235X.142.695-70.

A. G. Abramov, Ph. D., Head of Department, e-mail: abramov@nks.su,

A. A. Gonchar, Deputy Head of the Unified Computing Cluster, e-mail: gonchar@nks.su,

A. V. Evseev, Head of the Center of Management of National Research Network, e-mail: evseev@ nks.su,

B. M. Shabanov, Dr. Tech. Sci., Corr. Mem. of the RAS, Deputy Director, e-mail: shabanov@jssc.ru,

National Research Centre "Kurchatov Institute"

Results of the Development of National Research Computer Network of Russia within the Framework of the National Project "Science and Universities" in 2021–2024

The paper presents and discusses the main results of work on the development of the National Research Computer Network of Russia (NIKS) performed within the framework of the national project "Science and Universities" in 2021–2024. The implemented activities are considered to expand the territorial accessibility and increase the throughput of the backbone infrastructure, ensure high-speed and reliable sectoral network connectivity, and connect the country's leading research and educational organizations of higher education to the network. The dynamics of development of the network backbone infrastructure, regional coverage, gradual increase in the number of connected organizations and some other statistical information about the user base are presented. Prospects and possible directions for further development of NIKS are discussed.

Keywords: national research computer network, NIKS, national research and education network, backbone infrastructure, network bandwidth, territorial accessibility, leading research and educational organizations

Acknowledgments: The paper has been prepared within the framework of the state assignment of NRC "Kurchatov Institute" on the topic No FNEF-2024-0014. The work has been performed using the resources of the Center of the collective use of scientific equipment "National Research Computer Network" (code: 3576270).

DOI: 10.17587/it.31.35-41

References

1. Abramov A. G., Gonchar A. A., Evseev A. V., Shabanov B. M. Experience of integrating regional research and educational networks into the National Research Computer Network of Russia using the example of the ROKSON project, *Informatsionnyie Tehnologii*, 2023, vol. 12, pp. 615–621 (in Russian).
2. McClure C. R., Bishop A. P., Doty P., Rosenbaum H. The National Research and Education Network (NREN): Research and Policy Perspectives, Praeger, 1991, 758 p.
3. Allocchio C., Balint L., Berkout 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.
4. Abramov A. G., Evseev A. V. Conceptual aspects of creating a new generation national research computer network in the Russian Federation, *Informatsionnyie Tehnologii*, 2019, vol. 2, pp. 724–733 (in Russian).
5. Abramov A. G. Pan-European research and educational network consortium GANT: infrastructure features, key projects and services, *Informatsionnyie Tehnologii*, 2018, vol. 8, pp. 546–553 (in Russian).
6. Ivannikov A., Krivosheev A., Kurakin D. Development of the telecommunications network in the higher education system of the Russian Federation, *Vysshee obrazovanie v Rossii*, 1995, no. 2, p. 87 (in Russian).
7. Vasenin V. A. Russian academic networks and Internet (Status, problems, solutions), Moscow, REFIA, 1997, 173 p. (in Russian).
8. 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).
9. Abramov A. G., Gonchar A. A., Evseev A. V., Shabanov B. M. The new generation National research computer network: current state and concept of development, *Informatsionnyie Tehnologii*, 2021, vol. 3, pp. 115–124 (in Russian).
10. Abramov A. G., Gonchar A. A., Evseev A. V., Shabanov B. M. To the development of criteria for the connection of research and educational organizations to the new generation National Research Computer Network, *Informatsionnyie tehnologii i vychislitelnye sistemy*, 2021, vol. 2, pp. 22–33 (in Russian).
11. Abramov A. G., Evseev A. V., Gonchar A. A., Shabanov B. M. Issues of increasing the throughput and territorial availability of the national research computer network in Russia, *Systemy i sredstva informatiki*, 2022, vol. 32, no. 2, pp. 4–12 (in Russian).
12. Abramov A. G., Gonchar A. A., Evseev A. V., Shabanov B. M. Main results of the first stages of the project for the development of National Research Computer Network, *Informatsionnyie tehnologii i vychislitelnye sistemy*, 2024, vol. 1, pp. 3–10 (in Russian).
13. Ilyin V., Korenkov V., Soldatov A. Russian segment of the global LCG infrastructure, *Otkrytie sistemy*, 2003, no. 1, pp. 56–60 (in Russian).
14. Korenkov V. V. Grid technologies: status and prospects, *Vestnik Mezhdunarodnoj akademii nauk (Russkaja sekciya)*, 2010, no. 1, pp. 41–44 (in Russian).
15. Ovsyannikov A. P., Shabanov B. M. About the interuniversity quantum network project, *Programmnye produkty i sistemy*, 2023, vol. 36, no. 4, pp. 695–702 (in Russian).

Рисунки к статье А. Г. Абрамова, А. А. Гончара, А. В. Евсеева, Б. М. Шабанова

«РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗВИТИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ СЕТИ РОССИИ В РАМКАХ НАЦПРОЕКТА «НАУКА И УНИВЕРСИТЕТЫ» В 2021–2024 ГГ.»

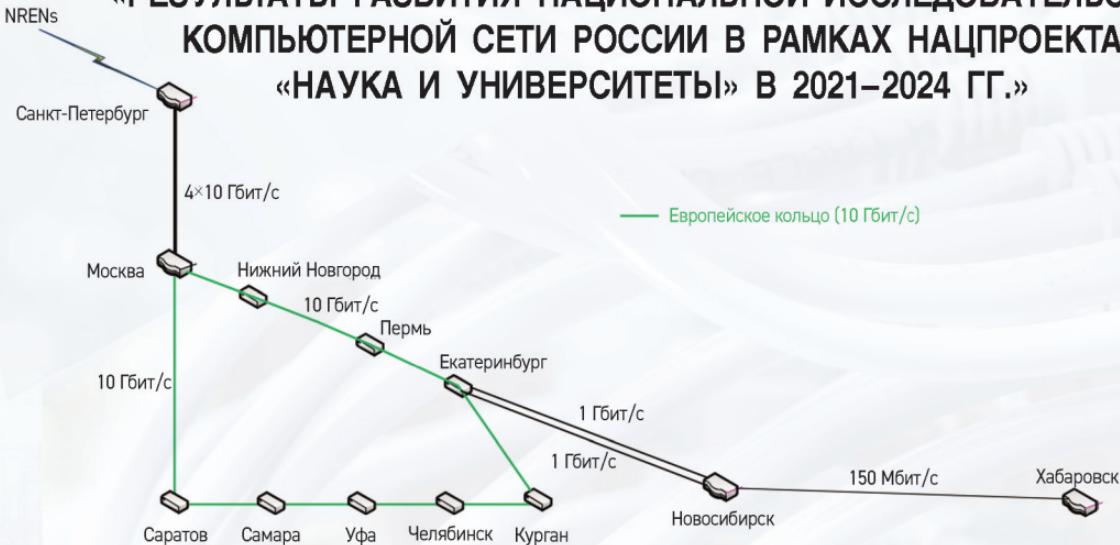


Рис. 1. Магистральная инфраструктура НИКС на конец 2020 г.

Рисунки к статье А. Г. Абрамова, А. А. Гончара, А. В. Евсеева, Б. М. Шабанова

«РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗВИТИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ СЕТИ РОССИИ В РАМКАХ НАЦПРОЕКТА «НАУКА И УНИВЕРСИТЕТЫ» В 2021–2024 ГГ.»

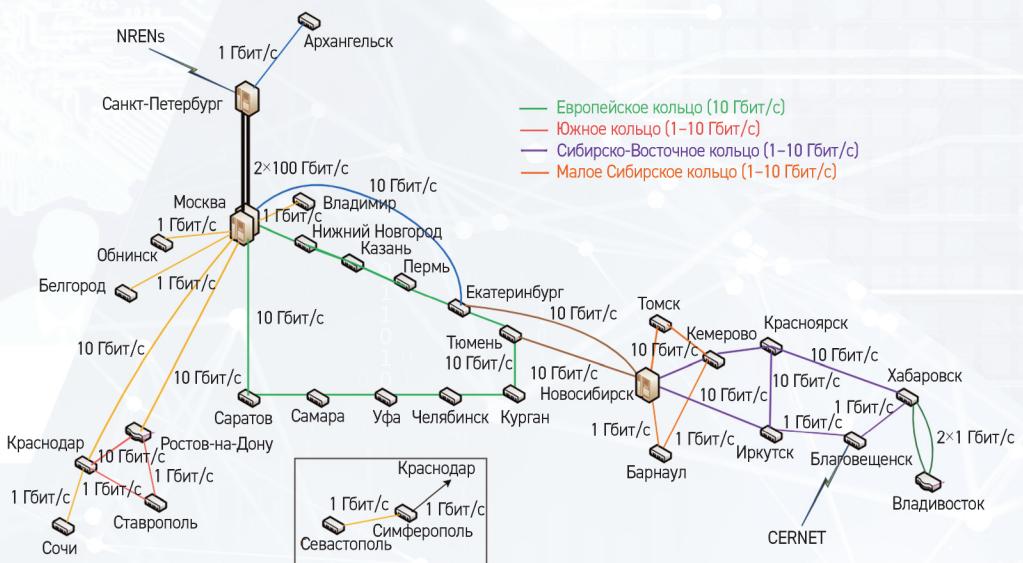


Рис. 2. Магистральная инфраструктура НИКС на конец 2024 г.

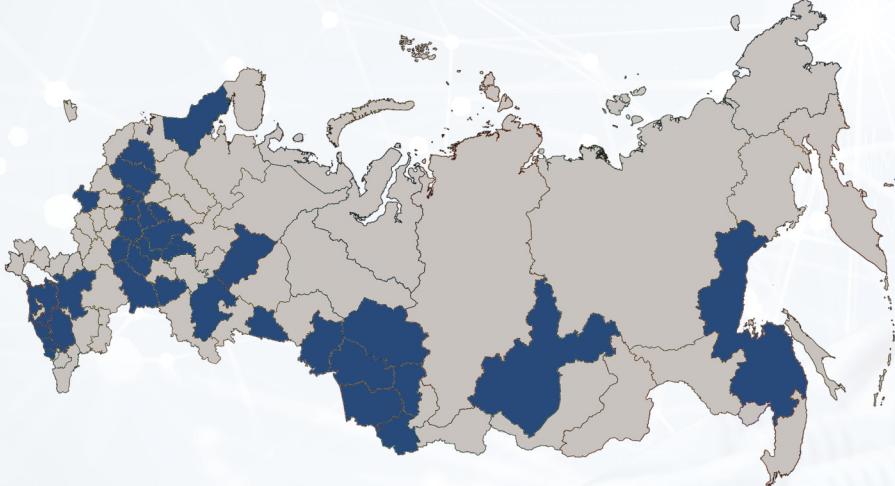


Рис. 4. Карта территориального покрытия НИКС на конец 2020 г.



Рис. 5. Карта территориального покрытия НИКС на конец 2024 г.