Основные результаты первых этапов проекта развития национальной исследовательской компьютерной сети *

А. Г. Абрамов [I], А. А. Гончар [II], А. В. Евсеев [I], Б. М. Шабанов [II]

[I] Санкт-Петербургское отделение Межведомственного суперкомпьютерного центра РАН – филиал ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, Санкт-Петербург, Россия
[II] Межведомственный суперкомпьютерный центр РАН – филиал ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, Москва, Россия

Аннотация. Статья посвящена обсуждению вопросов ускоренного развития Национальной исследовательской компьютерной сети нового поколения (НИКС) в качестве единой отраслевой информационно-телекоммуникационной в рамках национального проекта «Наука и университеты» на 2021-2024 гг. В работе собрана и систематизирована ключевая информация о прогрессе в выполнении проекта развития НИКС, представлены и обсуждены основные мероприятия, реализованные в течение первых двух лет работ по национальному проекту (2021-2022 гг.), а также планы на будущие периоды. Основное внимание уделено аспектам расширения территориальной доступности и увеличению пропускной способности магистральной инфраструктуры, методам отбора и подключению к НИКС ведущих научных и высших учебных заведений, обозначена динамика роста количества пользователей, приведена и прокомментирована карта территориального покрытия сети в контексте субъектов.

Ключевые слова: национальная исследовательская компьютерная сеть нового поколения, НИКС, национальная научно-образовательная сеть, магистральная инфраструктура, территориальная доступность, пропускная способность, пользовательская база, ведущие научные и образовательные организации.

DOI 10.14357/20718632240101 **EDN** KKFVQM

Введение

Национальная исследовательская компьютерная сеть нового поколения (НИКС) была образована в России в 2019 году по поручению Минобрнауки России как единая отраслевая информационно-телекоммуникационная сеть сферы науки и высшего образования - с обозначением ее ключевых целей и задач, наделением полномочиями и функциями, типичными для национальных научно-образовательных сетей (ННОС, англ. – National Research and Education Network, NREN) [1–5].

В 2019-2020 гг. Межведомственный суперкомпьютерный центр Российской академии наук – филиал ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН (МСЦ РАН), провел работы по интеграции составивших ее основу университетской сети RUNNet и сети отделений РАН RASNet в общую информационно-коммуникационную инфраструктуру с консолидацией имевшихся организационных, технологических и кадровых ресурсов [6, 7].

* Публикация подготовлена в рамках государственного задания ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН по теме No FNEF-2024-0014. Работа выполнена с использованием ресурсов Центра коллективного пользования «Национальная исследовательская компьютерная сеть» (код: 3576270).

Начиная с 2021 года, МСЦ РАН, наделенный функциями администратора НИКС, реализует поэтапный комплекс мероприятий по ускоренному развитию НИКС в рамках федерального проекта «Развитие инфраструктуры для научных исследований и подготовки кадров» (в составе национального проекта «Наука и университеты» на 2021-2024 гг.). Направления и ожидаемые результаты работ отражены в разработанной и утвержденной Минобрнауки России дорожной карте и предполагают существенное увеличение пропускной способности магистральной инфраструктуры НИКС, обеспечение высокого уровня территориальной доступности, подключение к сети ведущих государственных научных организаций (НО) и образовательных организаций высшего образования (ООВО), суперкомпьютерных центров (СКЦ) и других востребованных объектов научной инфраструктуры коллективного пользования с возможностями удаленного доступа.

Развитие НИКС производится в контексте реализации стратегии цифровой трансформации отрасли с целью предоставления организациям набора услуг и возможностей для выполнения исследований и разработок по приоритетным направлениям научно-технологического развития, применения информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) в основной деятельности, участия в научных и образовательных проектах, выполняемых с использованием отвечающей современным требованиям телекоммуникационной сети и сервисов на ее основе.

Проект требует ежегодной обстоятельной проработки и решения целого ряда организационных, документационных и технических вопросов, выполнения широкого спектра работ в рамках закрепленных функций и полномочий. В составе мероприятий можно выделить следующие:

- создание и утверждение планов масштабирования и модернизации компонентов магистральной инфраструктуры и инфраструктуры доступа,
- составление списков организаций на подключение с учетом хода развития сети и географического расположения,
- разработку технического задания, рабочей и исполнительной документации,
- организационную и техническую проработку реализации пользовательских подключений, подготовку отчетных материалов,
- взаимодействие на регулярной основе с курирующими представителями министерства, административными и техническими контактами пользователей и задействованных в предоставлении НИКС услуг связи операторов.

В статье предпринята попытка собрать и систематизировать информацию о прогрессе в выполнении проекта развития НИКС, представлены и обсуждены основные мероприятия, реализованные в течение первых двух лет работ по национальному проекту (2021-2022 гг.), а также планы на 2023-2024 гг. Приведены некоторые статистические сведения об эволюции подключений к сети ведущих организаций.

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

Инфраструктурно-сервисная платформа (ИСП) НИКС предназначена для подключения целевых пользователей к сети и предоставления им набора сервисов [6]. ИСП включает в себя сеть передачи данных (СПД), сформированную из опорных узлов связи и узлов доступа, магистральных каналов связи и сети доступа, а также сервисную подсистему и подсистему информационной безопасности.

СПД обеспечивает функционирование транспортной инфраструктуры и реализацию с использованием современных сетевых технологий научной связности, под которой понимается высокоскоростная внутрироссийская связность информационно-телекоммуникационных сетей ООВО, НО, региональных отраслевых сетей и обеспечение доступа к научным и образовательным ресурсам пользователей, подключенных к НИКС и к международным ННОС.

СПД построена на основе протоколов стека TCP/IP с использованием технологии MPLS и обеспечивает полосу пропускания магистральной сети в соответствии с актуальными потребностями и с потенциалом наращивания для магистральных каналов передачи данных с точками окончания на новых и модернизируемых узлах до 100 Гбит/с без необходимости обновления активного оборудования.

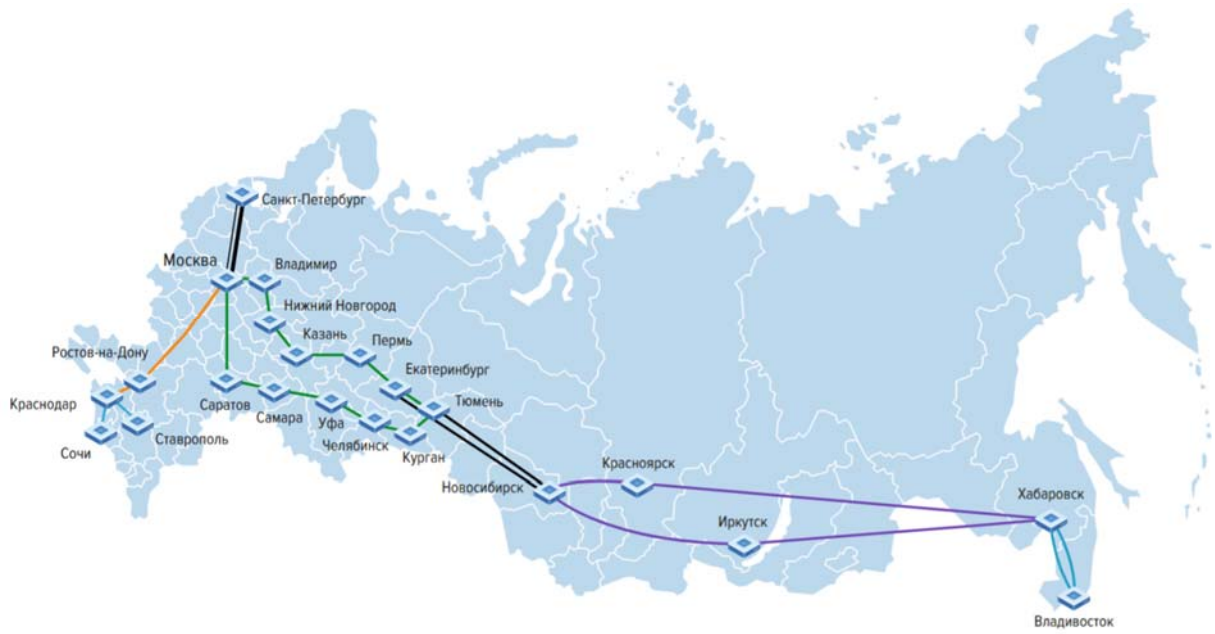

Рис. 1. Магистральная инфраструктура НИКС внутри России по состоянию на конец 2022 года

Решение задачи по расширению территориальной доступности НИКС для подключения целевых пользователей предполагает проектирование, построение и ввод в эксплуатацию новых опорных узлов связи в городах со значимым представительством ведущих ООВО и НО, создание соединяющих города новых кольцевых и линейных сегментов магистральной инфраструктуры (Рис. 1).

Задача увеличения пропускной способности магистральной инфраструктуры НИКС решается в ходе модернизации существующих узлов связи и каналов связи опорной сети на наиболее высоко нагруженных направлениях. Стоит заметить, что ключевыми устройствами на узлах связи являются современные MPLS-маршрутизаторы и дополнительные устройства коммутации и расширения.

В 2021-2022 гг. были построены новые опорные узлы связи, отличающиеся составом сетевого и сопутствующего оборудования, в городах Владивосток, Красноярск, Иркутск, Новосибирск, Ростов-на-Дону, Краснодар, Владимир, Тюмень и Казань. Узлы в Красноярске и Иркутске задействованы в формировании «Восточно-Сибирского кольца» в составе обновляемой магистральной инфраструктуры НИКС. В Новосибирске новый опорный узел развернут на территории расположенного на отдалении от центра города Новосибирского Академгородка, в котором локализованы более 30 научных институтов РАН, Президиум Сибирского отделения РАН и ведущий университет региона (НГУ). Узлы в Ростове-на-Дону и Краснодаре в последующих периодах будут включены в состав «Южного кольца». Во Владимире, Тюмени и Казани узлы встроены в инфраструктуру «Европейского кольца», имеющего сегодня пропускную способность 10 Гбит/с.

Помимо построения новых узлов, в обсуждаемый период времени были модернизированы отдельные существующие узлы связи опорной сети НИКС в Москве (3 узла), Санкт-Петербурге (3 узла), Новосибирске и Хабаровске, а также узлы в Нижнем Новгороде, Перми, Екатеринбурге, Челябинске, Самаре, Саратове, Уфе и Казани («Европейское кольцо»).

В течение первых двух лет реализации проекта были организованы новые каналы передачи данных на направлениях Москва – Ростов-на-Дону (10 Гбит/с), Ростов-на-Дону – Краснодар (10 Гбит/с), Москва – Владимир, Владимир – Нижний Новгород, Нижний Новгород – Казань, Казань – Пермь (все – по 10 Гбит/с, сегменты «Европейского кольца»), Новосибирск – Красноярск (10 Гбит/с), Новосибирск – Иркутск (10 Гбит/с), Иркутск – Хабаровск (1 Гбит/с), Красноярск – Хабаровск (1 Гбит/с), Хабаровск – Владивосток (2x1 Гбит/с, разными маршрутами).

Акцент при проектировании компонентов развиваемой магистральной инфраструктуры делается на отказоустойчивости функционирования сети, что обосновывает использование на отдельных сегментах кольцевых топологий. Важным требованием является надежность ИСП, которая достигается за счет:

- резервирования компонентов технических средств,
- использования гарантированного электропитания при размещении технических средств опорных узлов на площадках сторонних организаций или источников бесперебойного питания,
- дублирования и/или резервного копирования критичных массивов данных и носителей информации,
- обеспечения непрерывного мониторинга и контроля работоспособности программно-аппаратных компонентов подсистем с помощью развитых программных решений.

Созданные магистральные каналы обладают следующими основными характеристиками:

– обеспечивают гарантированную полосу пропускания с симметричной передачей данных,

– организованы по технологии выделенных каналов связи (минимально – на втором уровне модели OSI, L2),

– обеспечивают возможность использования сетевых технологий VLAN, Q-in-Q, LACP, IPv4, IPv6, L2VPN, Multicast на всех участках,

– обеспечивают пропуск сетевых пакетов размером не менее 2048 байт.

В соответствии с планами работ на 2023-2024 гг. предполагается создание новых кольцевых сегментов магистральной инфраструктуры НИКС (с пропускной способностью 1…10 Гбит/с) в регионах Западной Сибири, Северо-Запада, замыкание «Южного кольца», расширение емкости канала передачи данных между Москвой и Санкт-Петербургом (100 Гбит/с), строительство новых УС и организация линейных каналов передачи данных для подключения пользователей в неохваченных ранее городах присутствия ведущих организаций – Архангельске, Барнауле, Белгороде, Благовещенске, Кемерово, Кирове, Обнинске, Оренбурге, Петрозаводске, Симферополе, Ярославле и некоторых других. Параллельно планируется модернизация нескольких эксплуатируемых узлов связи.

2. Подключение к НИКС ведущих научных и образовательных организаций

Количественным значением результата работ по развитию НИКС в федеральном проекте «Развитие инфраструктуры для научных исследований и подготовки кадров» определен процент подключенных к сети ведущих НО и ООВО страны, возрастающий в разрезе годовых этапов реализации проекта. К концу 2024 года к НИКС должно быть подключено 90% ведущих организаций, список которых определен в федеральном проекте в соответствии с разработанными и утвержденными критериями отбора [7, 8].

Базовое значение показателя на момент начала работ по проекту развития сети составляло 20% (72 подключенных ведущих организации) из 12 регионов страны. В 2021 году к НИКС было подключено 67 ведущих организаций, что позволило довести значение показателя до необходимых 40% (139 ед.). Акцент в подключениях первого года был сделан на организациях из Москвы (48 ед.) и Санкт-Петербурга (14 ед.). В соответствии с планами развития инфраструктуры сети и реализации будущих подключений по одной организации было подключено из Владивостока, Екатеринбурга, Казани, Челябинска и Хабаровска.

В 2022 году было выполнено подключение еще 70 ведущих организаций с доведением значения целевого показателя до 60% (209 ед.). География новых подключений на этот раз была несравнимо богаче: организации располагаются в Новосибирске (20 ед.), Екатеринбурге (10), Владивостоке (6), Москве (5), Иркутске (4), Казани (3), Троицке (3), а также в Краснодаре, Красноярске, Нижнем Новгороде, Перми, Петропавловске-Камчатском, Ростове-на-Дону, Самаре, Санкт-Петербурге, Саратове, Уфе, Хабаровске, Черноголовке.

В процессе работы было осуществлено присоединение к НИКС отдельных региональных сетей, их фрагментов и подключенных к ним целевых пользователей, в том числе РОКСОН (Санкт-Петербург) [9, 10], ИРНОК (Иркутская область), KUBANnet (Краснодарский край), ПЕРСОНА (Пермский край), сеть Новосибирского Академгородка, академические сети Владивостока и Екатеринбурга.

Сегодня пользовательская база НИКС превышает 350 организаций, чуть менее 300 из которых, включая и ведущие, являются государственными ООВО (193 ед.) и НО (103 ед.), в том числе крупными научными и исследовательскими центрами, институтами РАН. Среди ООВО отметим университеты, находящиеся в ведении Правительства РФ, федеральные, национальные исследовательские университеты, участников программы «Приоритет 2030», передовые инженерные школ, исполнителей проектов строительства университетских кампусов мирового уровня и др.

Годовая динамика роста количества подключенных к НИКС пользователей (ведущих и иных целевых организаций), начиная с 2020 г., визуализирована на диаграмме на Рис. 2.

Представительство в составе пользовательской базы имеют организации 16 федеральных органов исполнительной власти с существенным преобладанием подведомственных Минобрнауки России (более 90%, 270 ед.).

Подключенные к сети ООВО и НО присутствуют во всех федеральных округах, распределены по 44 субъектам страны (Рис. 3) с наибольшим представительством в «столичных» регионах – в Москве (125 ед.) и Санкт-Петербурге (59). Среди других субъектов присутствия можно отметить Новосибирскую область (23), Свердловскую область (11), Приморский край (7) и Иркутскую область (6).

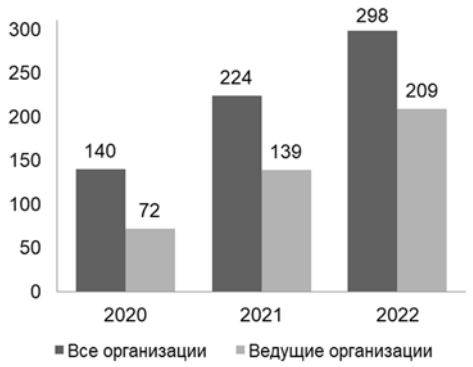

Рис. 2. Динамика роста количества пользователей (ведущих и иных целевых организаций по годам, с 2020 г.)

Помимо двух основных типов организаций, к НИКС подключен ряд учреждений культуры, организаций дополнительного профессионального образования, государственных организаций, органов власти и управления, некоммерческих объединений, расположенных в Москве и Санкт-Петербурге.

Скорости подключения пользователей варьируются в весьма широких пределах (от 50 Мбит/с до 10 Гбит/с) и определяются актуальными потребностями, а также техническими и экономическими аспектами.

По состоянию на текущий момент к НИКС подключены (на скорости не менее 10 Гбит/с) все действующие суперкомпьютерные центры (СКЦ) коллективного пользования сферы науки и образования страны, которые обладают пиковой производительностью более 100 ТФлопс [7, 11].

Рис. 3. Карта территориального покрытия НИКС по состоянию на конец 2022 года

Среди операторов СКЦ коллективного пользования с наибольшей суммарной производительностью можно выделить МГУ им. М.В. Ломоносова, МСЦ РАН, НИЦ «Курчатовский институт» (Москва), СПбПУ (Санкт-Петербург), ННГУ им. Н.И. Лобачевского (Нижний Новгород), ЮУрГУ (Челябинск), ИММ УрО РАН (Екатеринбург), ИАПУ ДВО РАН (Владивосток).

Таким образом, пользователям сети предоставлены возможности для удаленного высокоскоростного доступа к вычислительным мощностям и хранилищам данных, реализации проектов по объединению ресурсов в интересах распределенных групп исследователей, что повышает эффективность использования дорогостоящих аппаратно-программных суперкомпьютерных платформ.

Важным направлением деятельности НИКС является развитие международного сотрудничества, в рамках которого акцент в настоящее время сделан на организации взаимодействия на уровне ННОС со странами ЕАЭС. Соответствующие мероприятия предполагают поэтапную проработку административных, организационных и технических аспектов, необходимых для обеспечения функционирования проекта.

Заключение

Планомерная реализация проекта развития сети НИКС в 2021-2024 гг. в интересах целевой группы пользователей (ведущих научных организаций и образовательных организаций высшего образования) вносит свой вклад в решение целого ряда актуальных задач в рамках стратегического направления цифровизации отрасли. Расширение территориальной доступности и увеличение пропускной способности магистральной инфраструктуры НИКС обеспечит надежную высокоскоростную связность организаций между собой и объектами развиваемой научной инфраструктуры коллективного пользования, предоставит доступ к международным научно-образовательным сетям и консорциумам, обеспечит поддержку наложенных предметно-ориентированных сетей, включая сеть отраслевых СКЦ.

Прорабатываемые планы дальнейшего развития НИКС, развития инфраструктуры, расширения пользовательской базы нацелены на снижение цифрового неравенства в отношении организаций из отдельных регионов, включая новые и труднодоступные территории, предоставление возможностей эффективного доступа к современным научным данным и уникальным установкам на базе комплексной многофункциональной инфраструктурно-сервисной платформы сферы науки и образования.

Литература

1. 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.
2. 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.
3. Lehtisalo K. The History of NORDUnet: Twenty-five years of networking cooperation in the Nordic countries (2005). http://www.nordu.net/history/book.html.
4. GÉANT: The Case for NRENs. A Repository of Resources to Support Funding, Advocacy and the Advancement of National and Regional R&E Networks. https://www.casefornrens.org
5. Ижванов Ю.Л. Научно-образовательные компьютерные сети. Прошлое, настоящее и тенденции развития // Образовательные ресурсы и технологии. 2017. №2. С. 17-25.
6. 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. Т. 27. №3. С. 115-124. DOI: 10.17587/it.27.115-124.
7. 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.
8. 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.
9. Борисов Н.В., Гулин А.П., Лосев Г.М., Николаев В.А., Рябов Ю.Ф. Состояние и перспективы развития академической телекоммуникационной компьютерной сети в Санкт-Петербурге // Интернет и современное общество: Труды V Всеросс. объед. конференции (Санкт-Петербург, 25-29 ноября 2002 г.). СПб.: Изд-во СПбГУ, 2002. С. 74-76.
10. Абрамов А.Г., Гончар А.А., Евсеев А.В. Опыт интеграции региональных научно-образовательных сетей в национальную исследовательскую компьютерную сеть России на примере проекта РОКСОН // Информационные технологии. 2023 (принято к публикации).
11. 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 гос. университета. Серия: Вычислительная математика и информатика. 2020. №1. С. 20-35.

Абрамов Алексей Геннадьевич. Санкт-Петербургское отделение Межведомственного суперкомпьютерного центра РАН, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия. Ведущий научный сотрудник, кандидат физико-математических наук. Область научных интересов: информационные технологии, телекоммуникации, научно-образовательные сети, параллельные вычисления, вычислительная гидродинамика и тепломассообмен. E-mail: abramov@niks.su

Гончар Андрей Андреевич. Межведомственный суперкомпьютерный центр РАН – филиал ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, Москва, Россия. Заместитель директора. Область научных интересов: информационные технологии, телекоммуникации, научно-образовательные сети. E-mail: gonchar@niks.su

Евсеев Антон Владимирович. Санкт-Петербургское отделение Межведомственного суперкомпьютерного центра РАН, Санкт-Петербург, Россия. Директор. Область научных интересов: информационные технологии, телекоммуникации, научно-образовательные сети. E-mail: evseev@niks.su

Шабанов Борис Михайлович. Межведомственный суперкомпьютерный центр РАН – филиал ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, Москва, Россия. Директор, доктор технических наук, доцент, член-корреспондент РАН. Область научных интересов: архитектура суперкомпьютеров, суперкомпьютерные технологии, параллельные вычисления, научно-образовательные сети. E-mail: shabanov@jscc.ru

Main Results of the First Stages of the Project for the Development of National Research Computer Network

A. G. Abramov [I], A. A. Gonchar [II], A. V. Evseev [I], B. M. Shabanov [II]

[I] St.Petersburg branch of Joint Supercomputer Center of the Russian Academy of Sciences, St.Petersburg, Russia
[II] Joint Supercomputer Center of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract. The paper is devoted to the discussion of the issues of the accelerated development of the new generation National Research Computer Network (NIKS) as a single industry information and telecommunications network in the sphere of science and higher education of the country. The developed set of organizational and technical measures for the development of NIKS is being implemented as part of the national project "Science and Universities" for 2021-2024. The paper collects and systematizes key information on the progress in the fulfillment of the NIKS development project, presents and discusses the main activities implemented during the first two years of work on the national project (2021-2022), as well as plans for 2023-2024. The main attention is paid to the aspects of expanding the territorial accessibility and increasing the throughput of the backbone infrastructure, methods of selecting and connecting leading research and educational organizations of higher education to NIKS, the dynamics of the growth in the number of users is indicated, the map of the territorial coverage of the network is given and commented on in the context of subjects.

Keywords: new generation national research computer network, NIKS, national research and education network, backbone infrastructure, territorial accessibility, network bandwidth, user base, leading research and educational organizations.

DOI 10.14357/20718632240101 **EDN** KKFVQM

References

1. McClure, C.R., A.P. Bishop, P. Doty, and H. Rosenbaum. 1991. The National Research and Education Network (NREN): Research and Policy Perspectives. Praeger. 758 p.
2. Allocchio, C., L. Balint, V. Berkhout, J. Bersee, Yu. Izhvanov, et al. 2010. A History of international research networking: the people who made it happen. N.Y.: Wiley-VCH. 317 p.
3. Lehtisalo, K. 2005. The History of NORDUnet: Twenty-five years of networking cooperation in the Nordic countries. Available at: http://www.nordu.net/history/book.html (accessed May 24, 2023).
4. GÉANT: The Case for NRENs. A Repository of Resources to Support Funding, Advocacy and the Advancement of National and Regional R&E Networks. https://www.case-fornrens.org (accessed May 24, 2023).
5. Izhvanov, Yu.L. 2017. Nauchno-obrazovatel'nye komp'yuternye seti. Proshloe, nastoyashchee i tendentsii

razvitiya [Research and education computer networks. Past, present and development trends]. Obrazovatel'nye resursy i tekhnologii [Educational Resources and Technologies]. 2:17–25.
6. Abramov, A.G., A.A. Gonchar, A.V. Evseev, and B.M. Shabanov. 2021. Natsional'naya issledovatel'skaya komp'yuternaya set' novogo pokoleniya: tekushchee sostoyanie i kontseptsiya razvitiya [New generation National Research Computer Network: current state and development concept]. Informatsionnye tekhnologii [Information Technologies]. 27(3):115–124.
7. Abramov, A.G., A.V. Evseev, A.A. Gonchar, and B.M. Shabanov. 2022. Voprosy uvelichenija propusknoj sposobnosti i territorial'noj dostupnosti nacional'noj issledovatel'skoj komp'juternoj seti Rossii [Issues of increasing the throughput and territorial availability of the national research computer network in Russia]. Systemy i sredstva informatiki [Systems and means of informatics]. 32(2):4–12.
8. Abramov, A.G., A.A. Gonchar, A.V. Evseev, and B.M. Shabanov. 2021. Razrabotka kriteriev podkljuchenija nauchnyh i obrazovatel'nyh organizacij k Nacional'noj issledovatel'skoj komp'juternoj seti [Development of criteria for the connection of research and educational organizations to the new generation National Research Computer Network]. Informatsionnyie tehnologii i vychislytelnye systemy [Information technology and computing systems]. 2:22–33.
9. Borisov, N.V., A.P. Gulin, G.M. Losev, V.A. Nikolaev, Yu.F. Ryabov. 2022. Sostojanie i perspektivy razvitija akademicheskoj telekommunikacionnoj komp'juternoj seti v Sankt-Peterburge // Internet i sovremennoe obshhestvo [Status and development prospects of the academic telecommunications computer network in St. Petersburg]. Proc. of the V All-Russian United Conf. (St. Petersburg, November 25-29, 2002). St. Petersburg: Publishing House of SPbSU, 2002, 74–76, available at: http://imsconference2002.spbu.ru/02-r2f07.html (accessed May 24, 2023).
10. Abramov, A.G., A.A. Gonchar, A.V. Evseev, and B.M. Shabanov. 2023. Experience in integrating regional research and education networks to the National Research Computer Network of Russia on the example of the ROKSON network [Opyt integracii regional'nyh nauchno-obrazovatel'nyh setej v nacional'nuju issledovatel'skuju komp'juternuju set' Rossii na primere proekta ROKSON]. Informatsionnye tekhnologii [Information Technologies] (accepted for publication).
11. Savin, G.I., B.M. Shabanov, A.V. Baranov, A.A. Gonchar, and A.P. Ovsyannikov. 2020. Ob ispol'zovanii federal'noy nauchnoy telekommunikatsionnoy infrastruktury dlya superkomp'yuternykh vychisleniy [On the use of the federal research telecommunications infrastructure for supercomputer computing]. Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gos. universiteta. Seriya: Vychislitel'naya matematika i informatika [Bulletin of the South Ural State University. Series: Computational Mathematics and Informatics]. 1:20–35.

Abramov Alexey G. PhD, lead researcher, SPb branch of Joint Supercomputer Center, Russian Academy of Sciences, 14a emb. Smolenka river, Saint-Petersburg 199178, Russia; assistant professor, Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, 29 Polytechnicheskaya st., Saint-Petersburg 195251, Russia, e-mail: abramov@niks.su

Gonchar Andrey A. Deputy director, Joint Supercomputer Center, Russian Academy of Sciences, 32a Leninsky pr., Moscow 119334, Russia, e-mail: gonchar@niks.su

Evseev Anton V. Director, SPb branch of Joint Supercomputer Center, Russian Academy of Sciences, 14a emb. Smolenka river, Saint-Petersburg 199178, Russia, e-mail: evseev@niks.su

Shabanov Boris M. Doctor of Technical Science, assistant professor, corresponding member of RAS, director, Joint Supercomputer Center, Russian Academy of Sciences, 32a Leninsky pr., Moscow 119334, Russia, e-mail: shabanov@jscc.ru