



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого»
(ФГАОУ ВО «СПбПУ»)

Фомин Юрий Владимирович

«28» апреля 2026 года

ИНН 7804040077, ОГРН 1027802505279, ОКПО 02068574
ул. Политехническая, д. 29 литера Б,
вн. тер. г. муниципальный округ Академическое,
г. Санкт-Петербург, 195251
тел.: +7(812)552-60-80, office@spbstu.ru

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Янковского Никиты Андреевича на тему
«Модели и методы динамического распределения ресурсов в сетях 5G»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 2.2.15. – Системы, сети и устройства телекоммуникаций

Актуальность диссертационного исследования

Актуальность диссертационной работы Янковского Н.А. определяется необходимостью разработки новых эффективных моделей и методов управления ресурсами в сетях пятого поколения (5G). Стратегия развития отрасли связи Российской Федерации до 2035 года определяет в качестве приоритетных задач создание гибридных сетей связи и обеспечение труднодоступных районов услугами 5G на отечественном оборудовании. Выполнение этих задач невозможно без преодоления противоречий в требованиях к качеству обслуживания (QoS) для различных сценариев использования: сверхширокополосной мобильной связи (eMBB), сверхнадежной связи с низкой задержкой (URLLC) и массовых межмашинных коммуникаций (mMTC).

ГУАП ОД	Документ зарегистрирован
	« 08 » 05 2026 г.
Вх. №	21-146/26

Юрий Владимирович Фомин

С момента развития проблематики сетей 5G и по настоящее время исследованию моделей и алгоритмов управления трафиком посвящены работы целого ряда отечественных и зарубежных научных школ, среди которых можно выделить таких исследователей как Г.П. Башарин, В.М. Вишневский, А.Е. Кучерявый, Т.М. Татарникова, С.Н. Степанов, J. Andrews, P. Popovski и др. Предложенные этими авторами подходы позволяют решать отдельные задачи планирования ресурсов, однако вопросы совместного обслуживания разнородного трафика в условиях высокой плотности устройств и жестких ограничений QoS пока остаются недостаточно изученными. Текущее состояние исследований характеризуется рядом нерешенных вопросов, среди которых наиболее существенными являются: отсутствие эффективных механизмов сосуществования трафика URLLC и mMTC в восходящем канале, недостаточная адаптивность методов мультиплексирования eMBB и URLLC в нисходящем канале, а также неоптимальность статических схем ассоциации пользователей к базовым станциям. Эти методические недостатки существенно ограничивают возможности существующих систем и обуславливают необходимость разработки новых подходов к математическому моделированию и алгоритмической обработке трафика в сетях 5G.

На основании вышеизложенного, диссертационное исследование, направленное на разработку моделей и методов, обеспечивающих эффективное динамическое распределение ресурсов в сетях 5G для удовлетворения показателям QoS, представляет собой актуальное и значимое научное исследование, в полной мере соответствующее современным теоретическим и практическим тенденциям развития инфокоммуникационных систем.

Анализ структуры и содержания работы

Диссертационная работа Янковского Н.А. состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 131 странице, содержит 47 рисунков и графиков и 8 таблиц; список литературы включает 90 наименований. Содержание работы соответствует целям и задачам исследования. Материалы диссертации и автореферата изложены в логической последовательности,

соответствуют принципам целостности содержания и его внутреннего единства. Текст диссертации и автореферата оформлен в соответствии с требованиями ГОСТ.

По результатам проведенных исследований автором опубликовано 17 научных работах: 6 работ – в журналах из перечня ВАК, в том числе 1 из них без соавторов; 5 – в изданиях, индексируемых Scopus, и 5 – в сборниках конференций, индексируемых РИНЦ. По теме диссертации получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Опубликованные работы достаточно полно отражают основные результаты диссертационного исследования.

Новизна исследования и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Научная новизна результатов диссертационной работы обусловлена созданием новых моделей и методов динамического распределения ресурсов в сетях 5G, а именно:

1. Математические модели восходящего канала и нисходящего канала, отличаются от известных учетом сценариев использования сетей 5G, что позволяет организовать эффективное совместное обслуживание гетерогенного трафика, удовлетворяющее QoS.

2. Метод доступа устройств M2M к ресурсам сетей 5G, отличается от известных учетом специфики обслуживания данных малого объема, динамическим изменением числа используемых преамбул, а также системой приоритизации трафика, что позволяет снизить задержку и улучшить энергоэффективность за счет сокращения повторных передач.

3. Метод мультиплексирования битовых потоков URLLC и eMBB трафика в нисходящем канале сетей 5G, отличается от известных возможностью адаптивного изменения схемы распределения ресурсов между различными видами трафика, что позволяет для некоторых вариантов снизить среднюю задержку.

4. Математическая модель динамической ассоциации устройств с базовой станцией, отличается от известных учетом особенностей трафика устройств M2M, расположенных на границе соты, позволяющих снизить среднюю задержку передачи сообщений по нисходящему каналу связи.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов

Научные положения, выводы и рекомендации, представленные в диссертации, корректно формализованы, достоверны и обоснованы. Все основные результаты диссертации получены автором самостоятельно.

Полученные теоретические и экспериментальные результаты не противоречат общепринятым научным положениям. Высокая степень достоверности результатов диссертационного исследования подтверждается грамотным применением методов теории массового обслуживания, теории вероятностей, теории информации, методов математической оптимизации и имитационного моделирования. Результаты моделирования согласуются с теоретическими выкладками и асимптотическими оценками, а также подтверждаются сравнением с известными подходами.

Значимость для науки и практики результатов, полученных автором диссертации

Теоретическая значимость результатов диссертации заключается в развитии методов теории телетрафика и системного анализа применительно к современным сотовым сетям связи. Предложенные в работе математические модели сосуществования гетерогенных типов трафика (URLLC/mMTC, URLLC/eMBB) вносят вклад в теорию проектирования сетей 5G и последующих поколений. Выведенная асимптотическая нижняя граница средней задержки может служить теоретическим ориентиром при разработке новых алгоритмов планирования и ассоциации.

Практическая ценность диссертационной работы заключается в возможности непосредственной реализации предложенных моделей и алгоритмов в телекоммуникационном оборудовании и программном обеспечении базовых станций с целью повышения эффективности использования ресурсов, обеспечения гарантированного качества обслуживания и увеличения пропускной способности сетей 5G.

Основные научные результаты диссертационного исследования:

– использованы при разработке решений НТЦ «Аргус», а именно в модулях системы OSS Аргус-Технический Учет, что позволило повысить эффективность эксплуатации системы на сетях связи современных операторов;

– внедрены в учебный процесс федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» при проведении лекционных занятий и лабораторных работ по дисциплинам «Вычислительные системы, сети и телекоммуникации» и «Инфокоммуникационные системы и сети».

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Представленные в диссертации решения обладают значительным потенциалом и могут быть использованы для совершенствования систем управления радиоресурсами в сетях 5G/5G-Advanced. Предложенное в работе алгоритмическое и программное обеспечение целесообразно использовать:

– при разработке программного обеспечения базовых станций (gNB) для динамического планирования ресурсов в восходящем и нисходящем каналах;

– в системах управления радиоресурсами (RRM) операторов связи для прогнозирования нагрузки и адаптивного распределения преамбул случайного доступа;

– при создании систем координации между базовыми станциями для оптимизации процессов хэндовера и балансировки нагрузки в гетерогенных сетях;

– в научно-исследовательских работах, направленных на развитие сетей 6G, а также в учебном процессе при подготовке магистров и аспирантов по направлению «Инфокоммуникационные технологии и системы связи».

Замечания по диссертационной работе

1. В главе 2 при описании метода динамического изменения числа преамбул (раздел 2.5) автор использует комбинацию из двух прогнозных моделей (SVR для оценки числа активных устройств и RNN/LSTM для прогноза новых заявок). Однако в работе недостаточно подробно рассмотрен вопрос периодичности переобучения этих моделей в условиях дрейфа характеристик трафика в реальной сети.

2. В главе 3 при моделировании нисходящего канала (раздел 3.4.1) введено допущение об асимметрии декодирования (eMBB-пользователи не декодируют URLLC-вставки). Следовало бы более подробно обосновать, как данное допущение влияет на итоговые показатели PER для eMBB-трафика, особенно при ухудшении состояния канала.

3. В четвертой главе при разработке метода динамической ассоциации пользователей не в полной мере учтены задержки, связанные с самим процессом передачи обслуживания (хэндовера), и не оценено быстроедействие предложенного подхода для сценариев с высокой мобильностью пользователей.

4. В тексте диссертации встречаются отдельные опечатки и стилистические погрешности, не влияющие на понимание материала.

Указанные замечания носят частный характер и не снижают общей высокой научной и практической ценности диссертационной работы.

Заключение

Диссертация «Модели и методы динамического распределения ресурсов в сетях 5G» является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной научной задачи, имеющей значение для развития теоретических основ построения и оптимизации телекоммуникационных систем нового поколения.

Диссертация Янковского Н.А. выполнена на высоком научно-техническом уровне. Основные научные результаты, представленные в диссертации, обладают необходимой научной новизной, достоверны, обоснованы, апробированы на научных конференциях и опубликованы в рецензируемых научных изданиях из перечня, рекомендованного ВАК РФ, а также в изданиях, индексируемых Scopus. Название работы полностью отражает ее содержание, а научные результаты диссертации соответствуют пунктам 2, 6, 8 и 18 паспорта научной специальности 2.2.15. – Системы, сети и устройства телекоммуникаций. Автореферат диссертации отражает основное содержание диссертации.


На основании изложенного считаем, что представленная диссертационная работа «Модели и методы динамического распределения ресурсов в сетях 5G» соответствует критериям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, которые


установлены пп. 9–14 Положения «О порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842, и оценивается положительно, а ее автор, Янковский Никита Андреевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15. – Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Доклад по диссертации заслушан и обсужден и данный отзыв поддержан на заседании Академического совета Высшей школы прикладной физики и космических технологий (ВШПФиКТ) Института электроники и телекоммуникаций (ИЭиТ), протокол № 2 от «28» апреля 2026 года.

Отзыв подготовил

Профессор Высшей школы прикладной физики и космических технологий Института электроники и телекоммуникаций Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, заслуженный деятель науки РФ,  Макаров Сергей Борисович
д.т.н., проф.
e-mail: makarov_sb@spbstu.ru
тел.: +7 (812) 297-21-34

Директор Высшей школы прикладной физики и космических технологий Института электроники и телекоммуникаций Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого,  Гельгор Александр Леонидович
к.т.н., доц.

Директор Института электроники и телекоммуникаций Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого,  Коротков Александр Станиславович
д.т.н., проф.

28 апреля 2026 года

Сведения об организации: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»
Адрес: 195251, г. Санкт-Петербург, вн. тер. г. муниципальный округ Академическое, ул. Политехническая, д.29 литера Б
Сайт: <https://www.spbstu.ru>
тел. +7 (812) 775-05-30
Эл. почта: office@spbstu.ru