

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.384.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ»,
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

Решение диссертационного совета от 18 июня 2026 г. № 8/26 о присуждении Янковскому Никите Андреевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Модели и методы динамического распределения ресурсов в сетях 5G»

по специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций принята к защите 14 апреля 2026 года, протокол № 6/26, диссертационным советом 24.2.384.01, созданным на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А, приказ № 741/нк от 08 июля 2015 г.

Соискатель Янковский Никита Андреевич, 25 марта 1998 года рождения, гражданин Российской Федерации, работает старшим преподавателем кафедры прикладной информатики ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения».

В 2021 году соискатель закончил обучение в ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического

приборостроения» по направлению подготовки 11.04.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» (диплом магистра 107827 0004403 от 01 июля 2021, регистрационный номер 94927).

Также в период подготовки диссертации обучался в аспирантуре на очной форме в ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», направление подготовки 11.06.01 «Электроника, радиотехника и системы связи». Диплом об окончании аспирантуры 107827 0003038 от 02 июля 2025 года (регистрационный номер 183а).

Справка №09-17/46 от 18.11.2025 о сдаче кандидатских экзаменов по дисциплинам «Иностранный язык (английский)» и «История и философия науки» и по специальной дисциплине «2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций» выдана Янковскому Никите Андреевичу ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения».

Диссертация выполнена на кафедре прикладной информатики федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Татарникова Татьяна Михайловна, основное место работы – федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», директор института информационных технологий и программирования.

Официальные оппоненты:

1. Канаев Андрей Константинович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Электрическая связь» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего

образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», г. Санкт-Петербург;

2. Викулов Антон Сергеевич, кандидат технических наук, руководитель направления беспроводных решений, отдел беспроводных решений ООО «Лаборатория Кьютэк», г. Москва;

дали **положительные** отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», 195251, г. Санкт-Петербург, вн. тер. г. муниципальный округ Академическое, ул. Политехническая, д. 29 литера Б, в своем **положительном** отзыве, подписанном профессором Высшей школы прикладной физики и космических технологий Института электроники и телекоммуникаций, доктором технических наук Макаровым Сергеем Борисовичем, директором Высшей школы прикладной физики и космических технологий Института электроники и телекоммуникаций, кандидатом технических наук Гельгор Александром Леонидовичем, директором Института электроники и телекоммуникаций, доктором технических наук Коротковым Александром Станиславовичем, утвержденном проректором по научной работе Фоминым Юрием Владимировичем указала, что диссертация «Модели и методы динамического распределения ресурсов в сетях 5G» Янковского Н.А. является законченной научно-квалификационной работой, содержание которой соответствует пунктам 2, 6, 8 и 18 паспорта специальности 2.2.15 – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций». Полученные автором результаты отличаются научной новизной и практической значимостью. Результаты апробированы на научных конференциях и опубликованы в рецензируемых российских и зарубежных научных изданиях. Диссертационная работа соответствует критериям, которые установлены пунктами 9-14 Положения о порядке присуждении ученых степеней (утв. Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842), предъявляемым в отношении диссертаций на соискание ученой

степени кандидата технических наук, а её автор Янковский Никита Андреевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15 – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций».

Соискатель имеет 17 опубликованных работ по теме диссертации, из них: опубликовано 6 работ в рецензируемых научных изданиях, включенных в перечень ВАК РФ (из них одна работа опубликована без соавторства); 5 работ опубликовано в изданиях, включенных в перечень Scopus; 5 работ в прочих журналах и материалах конференций, включенных в РИНЦ; получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Общий объем авторского вклада в работы (без результатов интеллектуальной собственности, а именно патентов и свидетельства о регистрации программы для ЭВМ) составляет 4,8 печатных листов из общего количества 7,1 печатных листов.

Получены акты о внедрении результатов диссертационной работы в ООО «Научно-Технический Центр АРГУС» и ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения».

Наиболее значительные научные работы по теме диссертации.

Публикации в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Янковский Н.А., Пастушок И.А. О мультиплексировании потоков данных с использованием решетчатого кодирования в централизованных беспроводных сетях // Информационно-управляющие системы. 2021. № 2. С. 52-59. (объем 0,9 п.л. / авторский вклад 0,5 п.л.)

Личный вклад: Соискателем разработан аналитический аппарат для оценки помехоустойчивости и пропускной способности централизованных беспроводных сетей при мультиплексировании потоков данных на основе решетчатого кодирования, позволяющий обосновать выбор параметров кодовых конструкций. А также разработан метод адаптивного мультиплексирования потоков данных. Проведено имитационное

моделирование, демонстрирующее работу предложенного метода в различных условиях.

2. Янковский, Н. А. Использование сетевого кодирования для массовых межмашинных коммуникаций / Н. А. Янковский // Успехи современной радиоэлектроники. – 2023. – Т. 77, № 8. – С. 50-57.(объём 0.9 п.л. / авторский вклад 0,9 п.л.)

Личный вклад: Соискателем разработан метод, позволяющий улучшить вероятностно-временные показатели, характеризующие оперативность и достоверность передачи сообщений в условиях массовых межмашинных коммуникаций.

3. Янковский, Н. А. Оценка эффективности алгоритмов ассоциации и планирования для передачи чувствительного к задержке трафика по нисходящему каналу беспроводных сетей / Н. А. Янковский, Т. М. Татарникова // Успехи современной радиоэлектроники. – 2024. – Т. 78, № 8. – С. 33-38.(объём 0.7 п.л. / авторский вклад 0,4 п.л.)

Личный вклад: Соискателем разработан аналитический аппарат, позволяющий оценить показатели своевременности и надёжности передачи трафика, чувствительного к задержке, для сравнительного анализа эффективности алгоритмов ассоциации и планирования в нисходящем канале беспроводных сетей.

4. Yankovskii, N. A. Impact of correlated arrival and service flows for radio resource management in centralized wireless networks / N. A. Yankovskii, T. M. Tatarnikova // T-Comm. – 2024. – Vol. 18, No. 5. – P. 42-48.(объём 0.7 п.л. / авторский вклад 0,4 п.л.)

Личный вклад: Соискателем предложена методика оценки вероятностно-временных показателей, характеризующих эффективность управления радиоресурсами централизованных беспроводных сетей в условиях корреляции потоков поступления и обслуживания.

5. Янковский Н. А. Динамическое управление ресурсами в восходящем канале 5G / Н.А. Янковский, Т.М. Татарникова // Информация и Космос. – 2025. - №4. – С. 38-44.(объём 0.65 п.л. / авторский вклад 0,4 п.л.)

Личный вклад: Соискателем предложена методика, позволяющая оценить применимость методов управления ресурсами в восходящем канале связи.

6. Татарникова, Т. М. Динамическое распределение ресурсов в восходящем канале сети 5G / Т. М. Татарникова, Ю. А. Ямщиков, Н. А. Янковский // Морская радиоэлектроника. – 2025. – № 4(94). – С. 22-28.(объём 0.7 п.л. / авторский вклад 0,4 п.л.)

Личный вклад: Соискателем предложена совокупность моделей и методик, позволяющих оценить вероятностно-временные показатели эффективности динамического управления и распределения радиоресурсов в восходящем канале сетей 5G.

В диссертации Янковского Н.А. отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных работах соискателя, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

На диссертацию и автореферат поступили **отзывы из 7 организаций (все отзывы положительные):**

1. ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет» (подписал профессор кафедры «Информационных технологий и систем безопасности», д.т.н., профессор, Сикарев Игорь Александрович).
Замечания: 1. На странице 10 указано, что коэффициент детерминации прогноза числа активных устройств составил $R^2 = 0,998$, а средняя ошибка WARE – 18 %. Однако в автореферате не раскрыты условия, при которых получены эти оценки (объём и характер тестовой выборки), что затрудняет объективное суждение о качестве прогностической модели. 2. При сравнении алгоритмов ассоциации (рисунок 9) используются методы Round Robin и Maximum Throughput, однако в автореферате отсутствуют количественные оценки выигрыша по средней задержке в процентах для различных

нагрузочных сценариев, что несколько снижает наглядность представленных преимуществ.

2. ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича» (подписал профессор кафедры «Сетей связи и передачи данных», д.т.н., профессор, Парамонов Александр Иванович). Замечания: 1. На стр. 11–12 представлены результаты для алгоритма скользящего сетевого кодирования, демонстрирующие его преимущество перед схемой К-повторений, однако в тексте не указаны конкретные значения параметров (K, D, M), при которых выполнялось моделирование. Это затрудняет воспроизводимость и оценку границ применимости метода. 2. Описан метод динамической ассоциации на основе LSTM-прогнозирования, но отсутствуют данные о вычислительной сложности и времени, необходимом для обучения и выполнения прогноза в реальном времени, что важно для оценки возможности практической реализации на оборудовании базовых станций.

3. ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет ИТМО» (подписал профессор факультета программной инженерии и компьютерной техники, д.т.н., профессор, Платунов Алексей Евгеньевич). Замечания: 1. Для сценария URLLC критически важна задержка, вносимая процедурами управления: планированием, выделением ресурсов, сигнализацией. В автореферате этот аспект не освещён, и неясно, учтена ли задержка от управляющих структур в итоговых показателях, что может заметно влиять на реализуемость требований URLLC (<1 мс) в реальной сети. 2. Предложенные методы опираются на использование моделей машинного обучения (SVR, RNN, LSTM), однако в автореферате отсутствует обсуждение их вычислительной сложности и масштабируемости при развёртывании в сети с большим числом сот и устройств.

4. ФГАОУ ВО Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина).

(подписал профессор кафедры Информационные системы, к.т.н., доцент, Цехановский Владислав Владимирович) Замечания: 1. В работе неоднократно подчёркивается, что предложенные методы способствуют повышению энергоэффективности устройств mMTC, однако в тексте автореферата не приведено ни одной количественной оценки энергопотребления или продолжительности работы от батареи для сравниваемых схем. 2. В автореферате отсутствует информация о программных средствах и вычислительных ресурсах, применявшихся для имитационного моделирования.

5. Санкт-Петербургский филиал АО «НПК «ТРИСТАН» (подписал заместитель директора по научной работе, д.т.н., доцент, Сухопаров Михаил Евгеньевич). Замечания: 1. В модели восходящего канала рассматривается внутрисотовая конкуренция за преамбулы, однако не обсуждается влияние межсотовой интерференции, которая в реальных сетях 5G с высокой плотностью устройств может существенно увеличивать число коллизий и ошибочных декодирований. 2. В автореферате не приведено информации о программных средствах и вычислительных ресурсах, использованных при имитационном моделировании. Также не указаны доверительные интервалы или иные статистические характеристики для графиков зависимостей.

6. ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (подписал профессор кафедры автоматизированных систем управления, д.т.н., профессор, Гончаренко Сергей Николаевич) Замечания: 1. В имитационной модели восходящего канала (стр. 9) вероятность ошибки в беспроводном канале задана диапазоном $[0.01, 0.1]$, однако в автореферате не объяснён выбор именно этого интервала и не показано, насколько чувствительны основные результаты (средняя задержка, вероятность коллизий) к вариации данного параметра. 2. На рис. 8, иллюстрирующем зависимость средней задержки от количества устройств в нисходящем канале для eMBB и URLLC трафика, не указаны числовые

значения в характерных точках. В тексте автореферата отсутствуют количественные оценки, позволяющие сопоставить выигрыш предложенного метода мультиплексирования в абсолютных величинах (миллисекундах), что несколько снижает наглядность представления преимуществ.

7. ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (подписал профессор кафедры «Системы обработки информации и управления», д.т.н., профессор, Строганов Виктор Юрьевич) Замечания: 1. На стр. 11 при описании метода скользящего сетевого кодирования вводится обобщённая схема с параметрами (K, D, M), однако в тексте автореферата не приведены конкретные численные значения этих параметров, использованные при моделировании. 2. При сравнении алгоритмов ассоциации упоминаются жадный алгоритм и метод Гаусса-Зейделя, однако из автореферата неясно, проводилось ли сопоставление с более современными методами балансировки нагрузки.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается фундаментальным характером научных исследований, большим опытом и достижениями в области разработки современных телекоммуникационных систем и наличием соответствующих публикаций, в том числе в ведущих журналах, определенных ВАК при Минобрнауки России. Выбор федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» в качестве ведущей организации обусловлен большим опытом данного учреждения в области исследования современных и перспективных сетей и систем связи, а также большим числом публикаций в данной предметной области.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований: разработана математическая модель восходящего канала сети 5G как системы массового обслуживания типа G|G|1

с приоритетным обслуживанием трафика URLLC, отличающаяся учетом burst-характера трафика mMTC и возможностью динамического изменения числа преамбул, что позволяет снизить среднюю задержку передачи сообщений; **разработана** математическая модель нисходящего канала сети 5G как системы массового обслуживания типа G|G|1 с приоритетным обслуживанием URLLC трафика, отличающаяся от известных учетом совместной передачи гетерогенного трафика eMBB и URLLC и возможностью адаптивного мультиплексирования на основе комбинирования LDPC-кодов и решетчатой модуляции (TCM), что позволяет обеспечить выполнение строгих требований URLLC по задержке (менее 1 мс) и вероятности ошибки (менее 10^{-6}) при минимальной деградации пропускной способности eMBB; **предложен** метод доступа устройств M2M к ресурсам сетей 5G, отличающийся от известных учетом специфики обслуживания данных малого объема, динамическим изменением числа используемых преамбул на основе комбинирования методов регрессии опорных векторов SVR и рекуррентных нейронных сетей RNN, а также системой приоритизации трафика, что позволяет снизить задержку и улучшить энергоэффективность за счет сокращения повторных передач; **доказана** возможность снижения вероятности ошибки передачи данных в межмашинном взаимодействии за счет применения скользящего сетевого кодирования, позволяющего декодировать пакеты «на лету» и обеспечивающего вероятность ошибки ниже, чем при традиционном методе К-повторений; **введен** способ адаптивного мультиплексирования битовых потоков URLLC и eMBB в нисходящем канале сетей 5G, отличающийся комбинированным использованием LDPC-кодов и решетчатой модуляции (TCM), что позволяет обеспечить совместную передачу гетерогенного трафика в общем частотно-временном ресурсе.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что: **доказана** возможность повышения качества обслуживания (QoS) в сетях 5G за счет комплексного применения разработанных моделей и методов распределения ресурсов в восходящем и нисходящем каналах, а также

динамической ассоциации пользователей к базовым станциям, что подтверждается выполнением требований к задержке, надежности и пропускной способности; **применительно к проблематике диссертации результативно и эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов, использованы** методы теории вероятностей и математической статистики, теории случайных процессов, теории Марковских цепей, методы математической оптимизации и имитационного моделирования, а также методы машинного обучения (регрессия опорных векторов, рекуррентные нейронные сети, сети долговременной краткосрочной памяти);

изложены математические модели восходящего и нисходящего каналов как систем массового обслуживания с приоритетами, а также модель динамической ассоциации пользователей, описывающая процессы перераспределения нагрузки между базовыми станциями; **раскрыты** условия сосуществования сценариев eMBB, URLLC и mMTC в едином частотно-временном ресурсе, включая аналитические зависимости средней задержки от числа активных устройств и интенсивности трафика; **изучены** ключевые особенности влияния burst-трафика и коллизий преамбул на показатели QoS, что позволило обосновать необходимость динамического управления ресурсами;

проведена модернизация методов случайного доступа и мультиплексирования, отличающихся применением прогнозирования трафика на основе рекуррентных нейронных сетей и комбинированного кодирования, что обеспечивает адаптацию к изменяющимся сетевым условиям.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что: разработаны и внедрены метод доступа устройств M2M к ресурсам сетей 5G, метод мультиплексирования битовых потоков URLLC и eMBB в нисходящем канале, а также математическая модель динамической ассоциации устройств с базовой станцией в модулях системы OSS Аргус-Технический Учет (ООО «НТЦ

Аргус»), что позволило повысить эффективность эксплуатации системы на сетях связи современных операторов. Разработанные модели и методы используются в учебном процессе ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» в дисциплинах «Вычислительные системы, сети и телекоммуникации» и «Инфокоммуникационные системы и сети» при подготовке бакалавров по направлениям 09.03.03 – Прикладная информатика и 09.03.02 – Информационные системы и технологии;

определены перспективы практического применения результатов исследования для модернизации имеющихся сетей сотовой связи.

создана программная реализация методов динамического распределения ресурсов.

представлены предложения по дальнейшему совершенствованию предложенных моделей и методов распределения ресурсов в сотовых сетях 5G.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ результаты получены с применением компьютерного моделирования, а также подробно описаны условия и результаты экспериментов, показана воспроизводимость результатов исследования в различных условиях;

теория согласуется с известными ранее результатами в области теории связи, теории массового обслуживания и теории потенциальной помехоустойчивости;

Идея базируется на существующем противоречии, обусловленном, с одной стороны, необходимостью обеспечения достоверной и своевременной передачи сообщений в сетях 5G, а с другой стороны — наличием гетерогенного трафика, высокой плотности устройств, жёсткой конкуренции за частотно-временной ресурс, а также объективной ограниченностью частотного ресурса и выходной мощности базовых станций.

использованы результаты сравнения авторских данных и данных, полученных ранее по рассматриваемой тематике другими авторами;

установлено качественное совпадение авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике, в тех случаях, когда такое сравнение возможно провести;

использованы современные подходы к получению количественных результатов, совмещающие теоретический расчет и имитационное моделирование.

Личный вклад соискателя состоит в постановке задач исследований, разработке теоретических решений и формулировке предложенных моделей и методов, планировании исследований и экспериментов, обработке данных и интерпретации полученных результатов, обобщении результатов в виде обоснованных выводов, изложении содержания исследований в форме научных публикаций и апробации результатов.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания: для проверки точности и адекватности разработанных математических моделей восходящего и нисходящего каналов, а также модели динамической ассоциации пользователей, соискатель не использовал натуральный эксперимент на действующем оборудовании сетей 5G (например, на базе программно-конфигурируемых радиосистем или тестовой сетевой инфраструктуры), ограничившись имитационным моделированием; Не рассмотрены системные аспекты решаемой задачи, такие как влияние неточности прогнозирования числа активных устройств на эффективность динамического перераспределения преамбул между URLLC и mMTC.

Соискатель Янковский Никита Андреевич ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию по обсуждаемым научным положениям.

На заседании 18 июня 2026 года диссертационный совет принял решение: присудить Янковскому Никите Андреевичу ученую степень кандидата технических наук по специальности 2.2.15. «Системы, сети и

устройства телекоммуникаций» за решение научной задачи по повышению своевременности и достоверности передачи сообщений в сетях 5G.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 12 человек, из них 7 докторов наук по специальности 2.2.15, участвовавших в заседании, из 16 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение ученой степени – 12, против присуждения ученой степени – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Заместитель председателя диссертационного совета 24.2.384.01

доктор технических наук, профессор



Бестугин Александр Роальдович

Ученый секретарь диссертационного совета 24.2.384.01

кандидат технических наук, доцент



Сергеев Александр Михайлович

«18» июня 2026 года