

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ПДС 0200.006
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ДРУЖБЫ
НАРОДОВ ИМЕНИ ПАТРИСА ЛУМУМБЫ» ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ
СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета ПДС 0200.006

от 19 июня 2026 г., протокол № 18

О присуждении Голос Елизавете Сергеевне, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Построение вероятностных моделей микро- и макромобильности для анализа энергоэффективности сетей подвижной связи «Новое радио»» по специальности 1.2.3. Теоретическая информатика, кибернетика в виде рукописи принята к защите 11 мая 2026 г., протокол № 11, диссертационным советом ПДС 0200.006 федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (РУДН) Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; приказ от 24 октября 2022 года № 599).

Соискатель Голос Елизавета Сергеевна, 26.07.1998 года рождения, гражданка России, в 2022 году окончила (с отличием) федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов» по направлению «01.04.02 Прикладная математика и информатика»

С 30.09.2022 по 30.09.2025 обучалась в аспирантуре РУДН по программе подготовки научно-педагогических кадров по направлению 1.2 «Компьютерные науки и информатика», 1.2.3. «Теоретическая информатика, кибернетика», по которой подготовлена диссертация.

С 12 октября 2023 г. по настоящее время работает стажёром-исследователем на кафедре теории вероятностей и кибербезопасности РУДН.

С 13.02.2026 по 12.02.2027 прикреплена к аспирантуре по научной специальности 1.2.3. «Теоретическая информатика, кибернетика» без освоения программы подготовки научных и научно-педагогических кадров.

Диссертация выполнена на кафедре теории вероятностей и кибербезопасности Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы».

Научный руководитель: Гайдамака Юлия Васильевна, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры теории вероятностей и кибербезопасности факультета физико-математических и естественных наук

Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы».

Официальные оппоненты:

- **Парамонов Александр Иванович** — гражданин РФ, доктор технических наук (специальность 05.12.13 — Системы, сети и устройства телекоммуникаций), профессор, профессор кафедры сетей связи и передачи данных факультета инфокоммуникационных сетей и систем Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича»;
- **Семенова Ольга Валерьевна** — гражданин РФ, доктор физико-математических наук (специальность 05.13.18 — Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ), заведующий лабораторией, ведущий научный сотрудник лаборатории телекоммуникационных систем Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук»;
- **Степанов Михаил Сергеевич** — гражданин РФ, кандидат технических наук (специальность 05.12.13 — Системы, сети и устройства телекоммуникаций), доцент, доцент кафедры Интеллектуальные сетевые и облачные технологии факультета Сетевая инженерия Ордена Трудового Красного Знамени Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»

дали положительные отзывы о диссертации.

В заключениях отзывов оппонентов указано, что диссертационная работа полностью соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук согласно пункту 2.2 раздела II Положения о присуждении учёных степеней в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», утверждённого Учёным советом РУДН, протокол УС-1, 22.01.2024, а её автор, Голос Елизавета Сергеевна, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.3. Теоретическая информатика, кибернетика.

Основные результаты, выводы и рекомендации диссертационного исследования отражены 7 публикациях, в том числе в 3 работах, опубликованных в изданиях, индексируемых в международных базах цитирования Web of Science и Scopus. По теме

диссертации автором получены регистрации программ для ЭВМ 2 свидетельства о государственной

Наиболее значимые публикации:

1. Ostrikova, D., Beschastnyi, V., Moltchanov, D., Golos, E., Gaidamaka, Y., Ivanov, I., Koucheryavy, Ye., and Samouylov, K. Battery Lifetime and Power Consumption in 5G Systems with Intra- and Inter-RAT Dual-Connectivity. *IEEE Transactions on Mobile Computing*. 2024; 23(5): 5511-5526. DOI: 10.1109/TMC.2023.3311348.
2. Ostrikova, D.; Golos, E.; Beschastnyi, V.; Machnev, E.; Gaidamaka, Y.; Samouylov, K. Dynamic SNR, Spectral Efficiency, and Rate Characterization in 5G/6G mmWave/sub-THz Systems with Macro- and Micro-Mobilities. *Future Internet*. 2024; 16(7): 240. DOI: 10.3390/fi16070240.
3. Острикова Д. Ю., Голос Е. С., Бесчастный В. А., Мачнев Е.А., Шоргин В.С., Гайдамака Ю.В. Метод оценки характеристик систем 5G/6G «Новое Радио» с учетом макро- и микромобильности пользователей. *Информатика и ее применения*. 2024; 18(2): 32-39. DOI: 10.14357/19922264240205.
4. Бесчастный В.А., Голос Е.С., Острикова Д.Ю., Мачнев Е.А., Шоргин В.С., Гайдамака Ю.В. Анализ совместного использования стратегий энергосбережения для устройств 5G с ограниченным функционалом. *Системы и средства информатики*. 2023; 33(4): 69-81. DOI: 10.14357/08696527230407
5. Аксёнова А.В., Острикова Д.Ю., Бесчастный В.А., Голос Е.С., Конюхов Р.И., Гайдамака Ю.В. Модель энергопотребления устройства в режиме прерывистого приёма DRX в сети 5G NR. В сб.: *Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологичных систем: материалы Всероссийской конференции с международным участием*. Москва, РУДН, 18–22 апреля 2022 г; 2022: С. 85-91
6. Голос Е.С., Мачнев Е.А., Бесчастный В.А., Острикова Д.Ю., Мокров Е.В. К анализу энергоэффективности и срока службы батареи смартфона в терагерцевых сетях. В сб.: *Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологичных систем : материалы Всероссийской конференции с международным участием*. Москва, РУДН, 17–21 апреля 2023 г; 2023: С. 59-62
7. Голос Е.С. Анализ влияния расположения пользователей в соте сети 5G/6G на спектральную эффективность. В сб.: *В сб.: Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологичных систем: материалы Всероссийской конференции с международным участием*. Москва, РУДН, 08–12 апреля 2024 г; 2024: С. 121-128
8. Аксёнова А.В., Голос Е.С., Бесчастный В.А., Острикова Д.Ю., Гайдамака Ю.В. Расчет энергопотребления устройства в режиме DRX для различных типов трафика //

Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU2022619091 / 19.05.2022

9. Конюхов Р.И., Голос Е.С., Дараселия А.В., Сопин Э.С., Самуйлов К.Е. Расчёт вероятности потери сессии при совместном обслуживании в миллиметровом и терагерцевом диапазонах частот с учетом блокировок прямой видимости // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU2022660566 / 06.06.2022

На автореферат диссертации поступили положительные, не содержащие критических замечаний отзывы. Отзывы подписали:

- **Вытовтов Константин Анатольевич** — гражданин РФ, доктор технических наук (специальность 05.13.18 — Математические модели, численные методы и комплексы программ), доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории 49 инфраструктурных систем Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук.

В отзыве дана положительная оценка автореферата диссертации. В качестве недостатков указано следующее.

1. Отсутствие в выражениях для показателей энергоэффективности в явном виде параметров, отражающих зависимость энергопотребления от условий радиоканала и параметров процедур выравнивания луча и поиска канала.

- **Дворкович Александр Викторович** — гражданин РФ, доктор технических наук (специальность 05.12.04 — Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения), член-корреспондент Российской академии наук, руководитель проекта НИЦ телекоммуникаций НИЦ телекоммуникаций Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)».

В отзыве дана положительная оценка автореферата диссертации. В качестве недостатков указано следующее.

1. Не приведено описание формы области покрытия базовой станции в Утверждении 1 в главе 1 диссертации (стр. 9-10 автореферата).
2. Кроме того, при анализе чувствительных к задержке приложений следует учитывать спектральную эффективность радиоканала между приемо-передающими устройствами. Не ясно, учитывается ли это в модели при рассмотрении X-VR и веб-серфинга (стр. 15).

3. Из автореферата не указан вклад соискателя в опубликованных по теме диссертации работах.

— **Кучерявый Андрей Евгеньевич** — гражданин РФ, доктор технических наук (специальность 2.2.15 — Системы, сети и устройства телекоммуникаций), профессор, заведующий кафедрой сетей связи и передачи данных кафедры сетей связи и передачи данных Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича».

В отзыве дана положительная оценка автореферата диссертации. В качестве недостатков указано следующее.

1. При составлении рекомендаций по реализации сценариев двойного подключения и вариантов комбинации механизмов энергосбережения автор, судя по автореферату, не учитывает влияние емкости батареи B_C .

— **Пауль Светлана Владимировна** — гражданка РФ, доктор физико-математических наук (специальность 1.2.2 — Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ), доцент, профессор кафедры теории вероятностей и математической статистики кафедры теории вероятностей и математической статистики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет».

В отзыве дана положительная оценка автореферата диссертации. В качестве недостатков указано следующее.

1. Не ясно, применимы ли разработанные модели к анализу показателей энергоэффективности для произвольного сценария перемещения пользователей.

Все рецензенты отмечают, что приведённые замечания не снижают ценность результатов диссертационной работы и не влияют на её положительную оценку.

Выбор официальных оппонентов обосновывается их высокой квалификацией, наличием научных трудов и публикаций, соответствующих теме оппонируемой диссертации.

Парамонов Александр Иванович является крупным специалистом в области телекоммуникационных технологий. Его научная деятельность сосредоточена на оптимизации трафика в гетерогенных сетях IoT, повышении качества и надежности соединений в сетях 5G и URLLC. Особое внимание в его работах уделяется оценке

качества обслуживания в тактильном интернете и дополненной реальности, что является одним из важных аспектов диссертационного исследования соискателя.

Основные публикации Парамонова Александра Ивановича по тематике диссертационного исследования:

1. Кучерявый А.Е., Окунева Д.В., Парамонов А.И., Хоанг Н.Ф. Методы распределения трафика в гетерогенной сети интернета вещей высокой плотности // Труды учебных заведений связи. 2024. Т. 10. № 2. С. 67-74.
2. Ateya A.A., Bushelenkov S., Muthanna A., Paramonov A., Koucheryavy A Allaoua Chelloug S., Abd El-Latif A.A. Multipath Routing Scheme for Optimum Data Transmission in Dense Internet of Things // Mathematics. 2023. Т. 11. № 19. С. 4168.
3. Alzaghir A., Paramonov A., Koucheryav A. Estimation of Quality of Service in Tactile Internet, Augmented Reality and Internet of Things // Lecture Notes in Computer Science. 2022. Т. 13158 LNCS. С. 35-45.
4. Кашкаров Д.В., Парамонов А.И., Кучерявый А.Е. Метод повышения Эффективности URLLC в перспективных сетях связи // Электросвязь. 2022. № 2. С. 32-37.
5. Горбачева Л.С., Парамонов А.И. Модели показателей качества обслуживания для трафика (роботов-манипуляторов) // Информационные технологии и телекоммуникации. 2022. Т. 10. № 3. С. 13-19.

Семенова Ольга Валерьевна является крупным специалистом-теоретиком в области теории массового обслуживания и теории очередей — автором монографий и статей по анализу стохастических систем поллинга, систем с повторными вызовами, коррелированных потоков, что является одним из важных аспектов диссертационного исследования соискателя.

Основные публикации Семеновой Ольги Валерьевны по тематике диссертационного исследования:

1. Семёнова О.В., Вишневский В.М. Стохастические системы поллинга: развитие и новые приложения // Автоматика и телемеханика. 2026. № 1. С. 3-27.
2. Vishnevsky V. M., Klimenok V. I., Semenova O. V., Dang M. Retrial tandem queueing system with correlated arrivals // AIMS Mathematics. - 2025. - Vol. 10, № 5. - P. 10650-10674.
3. Vishnevsky V. M., Semenova O. V., Dang M., Nguyen V. H. Multiphase Queuing System of Blocking Queues and a Single Common Orbit Retrial Queue with Limited Buffer // Lecture Notes in Computer Science. - 2024. — Vol. 14123 LNCS. - P. 209-221.
4. Barabanova E. A., Vishnevsky V. M., Vytovtov K. A., Semenova O. V. Methods of Analysis of Information-Measuring System Performance under Fault Conditions // Journal of Communications Technology and Electronics. - 2023. - Vol. 68. - P. S368-S376.

5. Vishnevsky V. M., Vytovtov K. A., Barabanova E. A., Semenova O. V. Analysis of a MAP/M/1/N Queue with Periodic and Non-Periodic Piecewise Constant Input Rate // Mathematics. - 2022. - Vol. 10, № 10. - Art. 1684.
6. Klimenok V. I., Dudin A. N., Vishnevsky V. M., Semenova O. V. Retrial BMAP/PH/N Queueing System with a Threshold-Dependent Inter-Retrial Time Distribution // Mathematics. - 2022. - Vol. 10, № 2. - Art. 269.

Степанов Михаил Сергеевич является известным специалистом в области применения методов теории массового обслуживания к анализу производительности телекоммуникационных систем, в том числе, систем с гетерогенным трафиком, систем с повторными вызовами. В частности, в сферу его научных интересов входит анализ показателей эффективности систем мобильной связи, что является одним из важных аспектов диссертационного исследования соискателя.

Основные публикации Степанова Михаила Сергеевича по тематике диссертационного исследования:

1. A. Maslov, G. V. Sebekin, M. S. Stepanov, S. N. Stepanov, A. O. Shchurkov. Modeling the Processes of Subscriber Servicing in a Data Transmission Network Based on Spacecrafts in a Low Circular Orbit. I // Journal of Communications Technology and Electronics. 2025. Vol. 69. P. 376-385. DOI: 10.1134/S1064226925700020
2. S. N. Stepanov, M. S. Stepanov. Approximate Method for Estimating Characteristics of Joint Service of Real-Time Traffic and Elastic Data Traffic in Multiservice Access Nodes // Automation and Remote Control. 2024. Vol. 84. P. 1191-1207. DOI: 10.1134/S0005117923110073
3. T. Z. Dawood, M. S. Stepanov, M. Kudashkin, A. Shaimardanova, P. Lapko. The Impact of Impulsive Traffic on Cellular Internet of Things Network Performance Indicators // Sensors. 2023. Vol. 24(1). 46. DOI: 10.3390/s24010046
4. U. M. Andrabi, M. S. Stepanov. Collective servicing of heterogenous traffic streams over 3GPP LTE network and application of access control // T-Comm. 2022. Vol. 16(3). P. 43-49. DOI: 10.36724/2072-8735-2022-16-3-43-49
5. S. N. Stepanov, M. S. Stepanov. Estimation of the Performance Measures of a Group of Servers Taking into Account Blocking and Call Repetition before and after Server Occupation // Mathematics. 2021. Vol. 9(21). 2811. DOI: 10.3390/math9212811

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- разработана научная идея многоуровневого вероятностного моделирования энергоэффективности пользовательских устройств в сетях 5G «Новое радио», основанная на декомпозиции процессов микро- и макромобильности, мультисвязности

и механизмов энергосбережения с использованием поглощающих цепей Маркова, что позволило впервые комплексно учесть взаимное влияние указанных факторов на четыре ключевых показателя: спектральную эффективность, энергопотребление, энергоэффективность и время работы батареи;

- предложены оригинальные суждения о неэффективности фиксированной степени мультисвязности при высокой микромобильности, а также о зависимости выбора сценария двойного подключения (FR2/FR2, FR2/FR1, FR2/LTE) от плотности блокаторов и типа приложения, и о целесообразности комбинированного применения механизмов энергосбережения («прерывистый прием», «сигнал пробуждения», «релаксация управления радиоресурсами») для устройств RedCap, при этом установлено, что эффективность каждой комбинации существенно зависит от характеристик трафика;
- доказана необходимость динамической адаптации степени мультисвязности и выбора сценария двойного подключения в зависимости от плотности блокаторов, скорости микромобильности и типа трафика приложений, а также целесообразность комбинированного применения механизмов энергосбережения («прерывистый прием», «сигнал пробуждения», «релаксация управления радиоресурсами»);
- введены новые трактовки показателей энергоэффективности применительно к сетям 5G «Новое радио», включающие уточненные аналитические выражения для спектральной эффективности с учетом динамики изменения усиления антенн и потерь при распространении сигнала вследствие микро- и макромобильности, а также адаптированное определение длительности непрерывного соединения пользовательского устройства с сетью как минимальной из экспоненциально распределенных случайных величин, характеризующих интервалы до событий микромобильности, макромобильности и завершения сессии приложения.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- Развита математический аппарат для анализа сетей подвижной связи 5G «Новое радио»: предложены оригинальные методы аппроксимации распределений случайных интервалов микро- и макромобильности, разработаны многоуровневые модели в виде поглощающих цепей Маркова, позволяющие учитывать взаимное влияние характера трафика приложений, функции мультисвязности и механизмов энергосбережения (прерывистый прием, сигнал пробуждения, релаксация управления радиоресурсами), что расширяет теоретическую базу исследований в области телетрафика и стохастического моделирования систем связи.
- В отличие от известных базовых моделей микро- и макромобильности разработанные комбинированные модели в виде многоуровневых цепей Маркова позволили провести анализ 4 показателей энергоэффективности пользовательского

устройства (энергопотребление, энергоэффективность, спектральную эффективность и время работы батареи) в течение непрерывного соединения с сетью при одновременном учете всех особенностей процедур установления и поддержания соединения в беспроводных сетях 5G «Новое радио», а именно микро- и макромобильности, внутрисетевой и межсетевой мультисвязности, применении нескольких механизмов энергосбережения и их комбинаций.

- На основе разработанной комбинированной модели состояний пользовательского устройства в течение непрерывного соединения с сетью в виде трехуровневой цепи Маркова выполнен сравнительный анализ энергоэффективности пользовательского устройства с функцией мультисвязности при одновременном учете микро- и макромобильности в трех сценариях двойного подключения, который ранее для указанных сценариев внутрисетевой и межсетевой мультисвязности не проводился.
- На основе разработанной комбинированной модели состояний пользовательского устройства в течение непрерывного соединения с сетью в виде двухуровневой цепи Маркова выполнен сравнительный анализ энергоэффективности пользовательского устройства при применении механизмов энергосбережения «прерывистый прием», «сигнал пробуждения» и «релаксация управления радиоресурсами» а также их комбинаций, который ранее для не проводился.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

как для производства, так и для учебного процесса. В частности, практическая значимость работы подтверждается внедрением полученных результатов в исследование по гранту РНФ № 23-79-10084, регистрацией программ для ЭВМ, а также выработкой конкретных рекомендаций для операторов связи и разработчиков оборудования: определены условия эффективного применения различных сценариев двойного подключения в зависимости от плотности блокаторов и типа приложений, установлены границы целесообразности использования мультисвязности с учетом скорости макромобильности, а также предложены эффективные комбинации механизмов энергосбережения для устройств с урезанной функциональностью RedCap в сценариях промышленного интернета вещей, что позволяет повысить время автономной работы пользовательских устройств без ущерба для качества обслуживания.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

Достоверность полученных результатов обеспечивается корректностью выбранных методов теории случайных процессов, теории кинетических уравнений, математической статистики при выводе аналитических соотношений и доказательстве утверждений; совпадением аналитических формул характеристик построенных

моделей в частных случаях с классическими моделями теории массового обслуживания, обоснованностью принятых допущений, перекрестной верификацией методов, численными экспериментами с применением численного анализа, валидацией математических моделей в среде MATLAB.

Личный вклад соискателя состоит в:

непосредственном участии на всех этапах исследовательского процесса – от постановки задач до получения основных научных результатов диссертации; личном участии в проведении научных исследований, включая разработку сценариев для численных экспериментов и получение исходных данных; личном участии в апробации результатов исследования на международных и всероссийских научных мероприятиях; разработке методологической основы исследований, включая создание комплекса математических моделей и алгоритмов; обработке и интерпретации результатов численных экспериментов, выполненных при непосредственном участии автора; подготовке основных публикаций по выполненной работе, включая статьи в журналах, индексируемых в международных базах данных. Модель состояния ПУ при мультисвязности с двойным подключением в виде ЦМ уровня III для анализа энергопотребления ПУ в главе 2 и модель состояния ПУ с учетом 3-х механизмов энергосбережения в виде ЦМ уровня II для анализа энергопотребления ПУ в главе 3 построены автором. Численные эксперименты, представленные в диссертации, проведены с помощью программных средств, разработанных автором диссертации.

Заключение диссертационного совета подготовили:

- доктор технических наук, доцент, Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» Бегишев В. О.;
- доктор физико-математических наук, профессор, Международной межправительственной научно-исследовательской организации Объединенный институт ядерных исследований Веницкий С. И.;
- доктор физико-математических наук, профессор, Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» Ланеев Е. Б..

На заседании **19 июня 2026 г.** диссертационный совет принял решение присудить Голос Елизавете Сергеевне учёную степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 12 человек, из них 5 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 17 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0, проголосовали: за — 12, против — 0, недействительных бюллетеней — 0.

Председательствующий на заседании

заместитель председателя диссертационного совета
ПДС 0200.006, доктор физико-математических наук,
профессор



Кулябов Д. С.

учёный секретарь диссертационного совета ПДС
0200.006, кандидат физико-математических наук,
доцент

Геворкян М. Н.

19 июня 2026 г.