

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 от 14 марта 2025г., протокол № 17

О присуждении Макеевой Елене Дмитриевне, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Анализ приоритетной системы обслуживания трафика с зависимым занятием радиоресурсов» по специальности 1.2.3. Теоретическая информатика, кибернетика в виде рукописи принята к защите 22 ноября 2024 г., протокол № 15, диссертационным советом ПДС 0200.006 Федерального государственного автономного 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 Макеева Елена Дмитриевна, 1996 года рождения, в 2020 году окончила с отличием магистратуру в РУДН по направлению 01.04.02 – Прикладная математика и информатика.

С 22.09.2020 по 21.09.2024 гг. обучалась в аспирантуре РУДН по программе подготовки научно-педагогических кадров по направлению 09.06.01 Информатика и вычислительная техника, 05.13.17 Теоретические основы информатики.

В период подготовки диссертации Макеева Е.Д. являлась участником в исследованиях по теме № 025319-2-000 «Разработка моделей и алгоритмов нарезки радиоресурсов и приоритетного доступа в беспроводной сети 6G».

В настоящее время работает младшим научным сотрудником Федерального Государственного бюджетного учреждения науки института проблем управления им. В.А.Трапезникова Российской академии наук (ИПУ РАН) и по совместительству лаборантом-исследователем кафедры теории вероятностей и кибербезопасности Федерального государственного автономного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (РУДН).

Диссертация выполнена на кафедре теории вероятностей и кибербезопасности института компьютерных наук и телекоммуникаций факультета физико-математических и естественных наук Федерального государственного автономного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (РУДН).

Научный руководитель – Кочеткова Ирина Андреевна, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры теории вероятностей и кибербезопасности Федерального государственного автономного образовательного

учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (РУДН).

Официальные оппоненты:

- **Моисеева Светлана Петровна** – гражданин РФ, доктор физико-математических наук (05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ), профессор, заведующий кафедрой теории вероятностей и математической статистики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» (ТГУ).
- **Степанов Сергей Николаевич** – гражданин РФ, доктор технических наук (05.25.01 – Теоретические основы информатики, 05.12.14 – Сети, узлы связи и распределение информации), профессор, заведующий кафедрой «Сети связи и системы коммутации» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики» (МТУСИ).
- **Некрасова Руслана Сергеевна** – гражданин РФ, кандидат физико-математических наук (05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ), старший научный сотрудник лаборатории стохастического моделирования информационно-вычислительных и телекоммуникационных систем Института прикладных математических исследований – обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук» (КарНЦ РАН).

В заключениях отзывов оппонентов указано, что диссертационная работа полностью соответствует п.2.2 раздела II Положения о присуждении ученых степеней в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», утвержденного ученым советом РУДН 22.01.2024 г., протокол № УС-1, а ее автор, Макеева Елена Дмитриевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Соискатель имеет 11 опубликованных работ по теме диссертации, из которых 1 работа опубликована в издании, входящем в TOP-10, 3 работы опубликованы в изданиях, индексируемых в международных базах цитирования Scopus/WoS, 6 научных работы – это статьи и материалы конференции, опубликованные в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, рекомендованных «Перечнем РУДН»/«Перечнем ВАК». И 1 свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ. Общий объем публикаций 76 стр., авторский вклад не менее 80%.

#### **Наиболее значимые публикации:**

- **В изданиях, входящих в международную базу цитирования Web of Science и Scopus:**
  1. Макеева Е.Д., Кочеткова И.А., Шоргин С.Я. Вероятностная модель затухания мощности сигнала в сценариях 3GPP TR 38.901 развертывания сети 5G // Информатика и ее применения. – 2024. – Т. 18, № 2. – С.25-31.

2. Makeeva E., Kochetkova I., Alkanhel R. Retrial Queueing System for Analyzing Impact of Priority Ultra-Reliable Low-Latency Communication Transmission on Enhanced Mobile Broadband Quality of Service Degradation in 5G Networks // Mathematics. – 2023. 11(18).
3. Kochetkova I., Makeeva E., Ageeva A., Gorshenin A. Model for Analyzing Impact of Path Loss on eMBB Bit Rate Degradation Under Priority URLLC Transmission in 5G Network // Lecture Notes in Computer Science, LNCS. – 2022. P. 176-189.
4. Харин П.А., Макеева Е.Д., Кочеткова И.А., Ефросинин Д.В., Шоргин С.Я. Система массового обслуживания с орбитами для анализа совместного трафика с малыми задержками URLLC и широкополосного доступа eMBB в беспроводных сетях пятого поколения // Информатика и ее применения. – 2020; 14(4): P. 17-24.
- **В изданиях из списка ВАК РФ:**
5. Макеева Е.Д., Кочеткова И.А., Шоргин В.С. Модель для выбора уровней скорости широкополосного трафика eMBB в условиях приоритетной передачи трафика URLLC в сети 5G // Системы и средства информатики. – 2023. – Т. 33. – № 4. – С. 60-68.
- **Патенты:**
6. Агеева А.С., Макеева Е.Д., Кочеткова И.А. Расчет характеристик модели приоритетного доступа трафика URLLC с адаптивным изменением скорости трафика eMBB в условиях затухания сигнала сети 5G // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU2023663827/ 28.06.2023. Заявка № 2023662790, 21.06.2023.
- **Материалы конференций:**
7. Макеева Е.Д. Сравнительный анализ моделей обслуживания широкополосного трафика при приоритетной передаче данных с малой задержкой в беспроводной сети // В сборнике: Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологичных систем. Материалы Всероссийской конференции с международным участием. Москва, 2024. С.138-141.
8. Макеева Е.Д., Аскеров А.Э., Кочеткова И.А. Анализ вероятностной модели затухания мощности сигнала в сценариях 3GPP TR 38.901 сети 5G // В сборнике: Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологичных систем. Материалы Всероссийской конференции с международным участием. Москва, 2024. С. 142–146.
9. Makeeva E. Approaches to the joint scheduling of URLLC and EMBB traffic transmission in wireless 5G networks // Цифровое общество: образование, наука, карьера. Москва, 2021. – С. 410-420.
10. Леонтьева К.А., Макеева Е.Д. Анализ показателей эффективности передачи широкополосного трафика при приоритетных сессиях с низкой задержкой в беспроводной сети // Информационные технологии и математическое моделирование: Материалы XXII Международной конференции имени А.Ф. Терпугова, Томск, 04–09 декабря 2023 года. – Томск: ТГУ, 2023. – С.173-177.
11. Макеева Е.Д., Куцазли А.И., Кочеткова И.А. Модель стохастической геометрии для анализа затухания сигнала в сценариях 3GPP TR 38.901 развертывания беспроводной сети // Новые информационные технологии в исследовании сложных структур: Материалы 15-ой международной конференции, респ. Алтай, 16-20 сентября 2024. – Томск: ТГУ, 2024. – С.74-75.

На автореферат диссертации поступили положительные, не содержащие критических замечаний, отзывы от:

- **Парамонова Александра Ивановича**, гражданина РФ, доктора технических наук (05.12.13 – Системы сети и устройства телекоммуникаций), профессора, профессора кафедры сетей связи и передачи данных Федерального

государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский университет телекоммуникаций им. Проф. М.А. Бонч-Бруевича». В отзыве дана положительная оценка диссертации. В качестве недостатков указано что, на странице 10 автореферата указано, что «под моделью требований к ресурсу понимается система уравнений». Однако конкретный вид этой системы остается неясным. Было бы целесообразно представить указанную систему уравнений в корректной форме. И в первой главе при разработке модели с возобновлением стоило бы учесть фактор занятости ресурсов.

- **Клименко Анны Борисовны**, гражданина РФ, кандидата технических наук (05.13.17 – Теоретические основы информатики), доцента кафедры Фундаментальной и прикладной математики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный гуманитарный университет». В отзыве дана положительная оценка диссертации. В качестве недостатка указано что, в лемме 1, посвящённой матричному виду расчёта стационарных вероятностей в системе уравнений (8), упомянут вектор  $e$ , однако его значение и размерность не определены. Указание этих параметров было бы полезным дополнением.
- **Пакуловой Екатерины Анатольевны**, гражданина РФ, кандидата технических наук (05.13.11 – Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей), доцента кафедры безопасности информационных технологий им. О.Б. Макаревича Института компьютерных технологий и информационной безопасности Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный университет». В отзыве дана положительная оценка диссертации. В качестве недостатков указано, что отсутствуют объяснения причин выбора методики мультиплексирования частотного канала на временные интервалы, а также сравнительного анализа с другими возможными подходами, такими как нарезка радиоресурсов. Было бы целесообразно рассмотреть альтернативные методы и подробно обсудить преимущества и недостатки выбранной методологии в контексте поставленных задач исследования. Кроме того, в качестве цели диссертационной работы указана разработка моделей для анализа и расчета показателей эффективности передачи широкополосного трафика в условиях приоритетного узкополосного трафика с прерыванием обслуживания и снижением мощности сигнала в беспроводной сети. Однако из текста автореферата нельзя сделать однозначный вывод, что понимается под показателями эффективности в данной работе.

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

Выбор Степанова С.Н. обоснован тем, что он является крупным специалистом в области телекоммуникаций и принципов функционирования мобильных сетей связи пятого и последующих поколений. В частности, в сфере его научных интересов

находится вопрос разработки методов оценки характеристик пропускной способности моделей телекоммуникационных систем и сетей, что является одним из важных аспектов диссертационного исследования соискателя.

Основные публикации Степанова С.Н. по тематике диссертационного исследования:

1. А.А. Маслов, Г.В. Себекин, М.С. Степанов, С.Н. Степанов, А.О. Щурков. Модель резервирования канального ресурса при обслуживании разнородного трафика в сети маломощных мобильных абонентских терминалов на базе КА с высокой пропускной способностью // Информационные процессы. – 2024. – Т. 24, № 1. – С. 1-15. – DOI 10.53921/18195822\_2024\_24\_1\_1.

2. A.A. Maslov, G.V. Sebekin, S.N. Stepanov, A.O. Shchurkov, A.P. Vasilyev. Model of processes for joint maintenance of real-time multiservice traffic and elastic data traffic in a network of low-power mobile subscriber terminals based on high-throughput satellites // T-Comm. – 2024. – Vol. 18, No. 3. – P. 41-49. – DOI 10.36724/2072-8735-2024-18-3-41-49.

3. С.Н. Степанов, М.С. Степанов. Приближенный метод оценки характеристик совместного обслуживания трафика реального времени и эластичного трафика данных в мультисервисных узлах доступа // Автоматика и телемеханика. – 2023. – № 11. – С. 93-114. – DOI 10.31857/S0005231023110065.

4. 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. – 2023. – Vol. 84, No. 11. – P. 1191-1207. – DOI 10.1134/s0005117923110073.

5. M.S. Stepanov, S.N. Stepanov, J. Ndayikunda, U. Andrabi, D. Petrov. The Increasing of Resource Sharing Efficiency in Network Slicing Implementation // Communications in Computer and Information Science. – 2022. – Vol. 1552. – P. 18-35. – DOI 10.1007/978-3-030-97110-6\_2.

Выбор Моисеевой С.П. обусловлен тем, что она является крупным специалистом в области моделирования телекоммуникационных систем и теории массового обслуживания. В частности, в сфере её научных интересов находится вопрос анализа характеристик систем массового обслуживания с разными дисциплинами обслуживания, что является одним из важных аспектов диссертационного исследования соискателя.

Основные публикации Моисеевой С.П. по тематике диссертационного исследования:

1. Danilyuk E.Y., Kuznetsova D.I., Moiseeva S.P. Asymptotic Analysis of Retrieval Queueing System MMPP/M/1 with Impatient Customers, Collisions and Unreliable Server // 2023 5th International Conference on Problems of Cybernetics and Informatics (PCI) 2023, 28-30 august 2023. [S. 1.], 2023. P. 1-4. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10325990>.

2. Polin E.P., Moiseeva S.P., Moiseev A.N. Heterogeneous queueing system with Markov renewal arrivals and service times dependent on states of arrival process // *Discrete and Continuous Models and Applied Computational Science*. 2023. Vol. 31, № 2. P. 105–119.

3. Danilyuk E.Yu., Plekhanov A.S., Moiseeva S.P., Sztrik J. Asymptotic Diffusion Analysis of Retrial Queueing System M/M/1 with Impatient Customers, Collisions and Unreliable Servers // *Axioms*. 2022. Vol. 11, № 12. Art. num. 699. URL: <https://www.mdpi.com/2075-1680/11/12/699>.

4. Pankratova E., Moiseeva S., Farkhadov M. Infinite-Server Resource Queueing Systems with Different Types of Markov-Modulated Poisson Process and Renewal Arrivals // *Mathematics*. 2022. Vol. 10, № 16. Art. num. 2962. DOI: 10.3390/math10162962

5. Lisovskaya E., Fedorova E., Salimzyanov R., Moiseeva S. Resource Retrial Queue with Two Orbits and Negative Customers // *Mathematics*. 2022. Vol. 10, № 3. P. 321–1–321-19. URL: <https://www.mdpi.com/2227-7390/10/3/321/htm>.

6. Sztrik J., Toth A., Danilyuk E.Yu., Moiseeva S.P. Analysis of Retrial Queueing System M/G/1 with Impatient Customers, Collisions and Unreliable Server Using Simulation // *Communications in Computer and Information Science*. 2021. Vol. 1391. P. 291-303.

7. Nazarov, A., Moiseev, A., & Moiseeva, S. (2021). Mathematical Model of Call Center in the Form of Multi-Server Queueing System. *Mathematics*, 9(22), 2877.

Выбор Некрасовой Р.С. обусловлен тем, что она является крупным специалистом в области разработки вероятностных методов анализа стационарности высокопроизводительных систем и мультисервисных сетей. В частности, в сфере её научных интересов находится вопрос стохастического анализа систем обслуживания с повторными вызовами, что является одним из важных аспектов диссертационного исследования соискателя.

Основные публикации Некрасовой Р.С. по тематике диссертационного исследования:

1. K. Avrachenkov, E. Morozov, R. Nekrasova. Stability analysis of two-class retrial systems with constant retrial rates and general service times // *Performance Evaluation*. – 2023. – Vol. 159. – P. 102330. – DOI 10.1016/j.peva.2022.102330.

2. R. Nekrasova, E. Morozov, D. Efrosinin, N. Stepanova. Stability analysis of a two-class system with constant retrial rate and unreliable server // *Annals of Operations Research*. – 2023. – No. 6/н. – P. 1-23. – DOI 10.1007/s10479-023-05216-6.

3. R. Nekrasova. Sufficient Stability Conditions for a Multi-orbit Retrial System with General Retrials Under Classical Retrial Policy // *Communications in Computer and Information Science*. – 2022. – Vol. 1552. – P. 247-258. – DOI 10.1007/978-3-030-97110-6\_19.

4. R. Nekrasova, E. Morozov, D. Efrosinin. Verification of Stability Condition in Unreliable Two-Class Retrial System with Constant Retrial Rates // *DCCN 2022: Distributed Computer and Communication Networks: Control, Computation,*

Communications, Moscow, 26–29 сентября 2022 года. Vol. 13766. – Springer Nature Switzerland AG: Springer Nature Switzerland AG, 2022. – P. 297-308.

5. R. Nekrasova. Stability Analysis of a Multi-class Retrial Queue with General Retrials and Classical Retrial Policy // Conference of Open Innovations Association, FRUCT. – 2021. – No. 28. – P. 328-333.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

-*Разработана* модель приоритетного доступа узкополосного трафика с возобновлением и ожиданием начала обслуживания широкополосного трафика, *получен* матричный алгоритм расчета стационарного распределения для расчета и оценки показателей эффективности передачи широкополосного трафика.

-*Разработана* модель приоритетного доступа узкополосного трафика с прерыванием обслуживания широкополосного трафика с зависимым занятием ресурса: длительности кадра и мощности сигнала, *построена* модель мощности затухания сигнала с использованием кусочно-заданного вида функции для прямой видимости и максимума нескольких функций для непрямой видимости, *получены* матричный алгоритм расчета стационарного распределения и алгоритм снижения размерности системы уравнений равновесия.

-*Разработана* модель приоритетного доступа со снижением скорости передачи и прерыванием обслуживания широкополосного трафика с зависимым занятием ресурса, где длительность кадра разделяется дискриминаторно пропорционально требованиям к скорости обслуживания трафика.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

- *предложены* математические модели приоритетной передачи узкополосного трафика с разными схемами обслуживания широкополосного трафика: с возобновлением, прерыванием обслуживания, снижением скорости передачи, в виде системы массового обслуживания с орбитами и ресурсных систем массового обслуживания с зависимым занятием ресурсов.

-*получены* матрицы интенсивностей переходов в блочном трехдиагональном виде для моделей с возобновлением и прерыванием обслуживания,

- *получен* вид функции распределения модели затухания сигнала при случайном расположении пользователей в радиусе действия базовой станции.

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

- *изучено* влияние интенсивности поступления повторных вызовов на показатели эффективности передачи широкополосного трафика,

- *разработана* программа для численного исследования показателей эффективности модели с возобновлением обслуживания;

- *разработана* программа для численного исследования показателей эффективности модели со снижением скорости передачи широкополосного трафика,

- разработана программа для получения функции распределения модели мощности затухания сигнала для прямой и непрямой видимости,
- представлены рекомендации по выбору интенсивности повторных вызовов для удовлетворения требуемым значениям вероятностей блокировки и прерывания обслуживания широкополосного трафика,
- представлено решение задачи максимизации скорости передачи при заданных ограничениях на вероятности блокировки и прерывания, и минимальной скорости.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

- численные результаты получены в ходе численного анализа,
- математические модели построены с использованием строгих математических доказательств,
- использованы известные методы теории массового обслуживания, математической теории телетрафика и стохастической геометрии.

**Личный вклад соискателя** состоит в том, что Макеева Елена Дмитриевна, работая в коллективе соавторов, самостоятельно:

- разработала модель приоритетного доступа узкополосного трафика с возобновлением и ожиданием начала обслуживания широкополосного трафика в виде системы массового обслуживания с двумя орбитами,
- сформулировала и численно решила задачу выбора параметра потока попыток возобновления обслуживания широкополосного трафика,
- разработала модель приоритетного доступа узкополосного трафика с прерыванием обслуживания широкополосного трафика в виде ресурсной системы массового обслуживания с зависимым занятием ресурса,
- построила модель мощности затухания сигнала с использованием кусочно-заданного вида функции для прямой видимости и максимума нескольких функций для непрямой видимости,
- разработала модель приоритетного доступа со снижением скорости передачи и прерыванием обслуживания широкополосного трафика в виде ресурсной системы массового обслуживания с зависимым занятием ресурса,
- сформулировала и решила задачу максимизации средней скорости широкополосного трафика по значениям уровней скорости и при ограничениях на вероятности прерывания обслуживания и блокировки.

Диссертация Макеевой Елены Дмитриевны является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной научной задачи разработки моделей приоритетного доступа узкополосного трафика со снижением мощности сигнала, скорости передачи, а также прерыванием и возобновлением обслуживания широкополосного трафика при зависимом занятии двух типов ресурса – мощности сигнала и длительности кадра.

Заключение диссертационного совета подготовлено доктором физико-математических наук, профессором, профессором кафедры теории вероятностей и кибербезопасности РУДН Ю.В. Гайдамака, доктором физико-математических наук,



профессором, профессором математического института им. С.М. Никольского РУДН Е.Б. Ланевым и доктором физико-математических наук, доцентом, профессором Департамента математики Финансового Университета при Правительстве РФ Е.Ю. Щетининым.

На заседании 14 марта 2025 г. диссертационный совет принял решение присудить Макеевой Елене Дмитриевне ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 12 человек, из них 4 доктора наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 16 человек, входящих в состав совета, 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.

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



Геворкян М. Н.

«14» марта 2025 г.

