

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 2025 г., протокол № 16

О присуждении Ивановой Дарье Вадимовне, гражданке РФ, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Модели совместного обслуживания трафика с приоритизацией и разделением ресурсов в промышленном развертывании мобильных сетей» по специальности 1.2.3 – Теоретическая информатика, кибернетика в виде рукописи принята к защите 22 ноября 2024 г., протокол № 14, 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 Иванова Дарья Вадимовна, 1996 года рождения, в 2020 году окончила с отличием магистратуру в ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов» по направлению 02.04.02 – Фундаментальная информатика и информационные технологии.

С 22.09.2020 г. по 21.09.2024 г. обучалась в очной аспирантуре РУДН по программе подготовки научно-педагогических кадров по направлению 09.06.01 – Информатика и вычислительная техника, соответствующему научной специальности 1.2.3 – Теоретическая информатика, кибернетика.

В период подготовки диссертации являлась стажером-исследователем кафедры теории вероятностей и кибербезопасности факультета физико-математических и естественных наук РУДН, где и работает по настоящее время.

Диссертация выполнена на кафедре теории вероятностей и кибербезопасности, факультета физико-математических и естественных наук ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени П. Лумумбы».

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук, доцент Маркова Екатерина Викторовна, работает в ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени П. Лумумбы».

Официальные оппоненты:

- **Моисеева Светлана Петровна** — гражданка Российской Федерации, доктор физико-математических наук (05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ), профессор, заведующий кафедрой теории вероятностей и математической статистики, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего

образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет».

- **Горшенин Андрей Константинович** — гражданин Российской Федерации, доктор физико-математических наук (05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ), доцент, главный научный сотрудник, руководитель отдела, Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук.
- **Агеев Кирилл Анатольевич** — гражданин Российской Федерации, кандидат физико-математических наук (05.13.17 – Теоретические основы информатики), директор по управлению проектами, Банк ВТБ (публичное акционерное общество).

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, Иванова Дарья Вадимовна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Соискатель имеет 10 опубликованных работ по теме диссертации, в том числе 8 работ, опубликованных в изданиях, индексируемых в международных базах цитирования Scopus/WoS, и 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. Общий объем публикаций 101 стр, автору принадлежат не менее 80%

Наиболее значимые публикации:

- **В изданиях, входящих в международную базу цитирования Web of Science и Scopus:**
- 1. Ivanova D., Markova E., Moltchanov D., Pirmagomedov R., Koucheryavy Y., and Samouylov K. Performance of Priority-Based Traffic Coexistence Strategies in 5G mmWave Industrial Deployments // IEEE Access. – 2022. – Vol. 10. – P. 9241–9256.
- 2. Ivanova D., Zhbankova E., Markova E., Gaidamaka Y., and Samouylov K. Performance modeling and comparison of URLLC and eMBB coexistence strategies in 5G new radio systems // Computer Networks. – 2024. – Vol. 255.
- 3. Kondratyeva A., Ivanova D., Begishev V., Markova E., Mokrov E., Gaidamaka Y., and Samouylov K. Characterization of Dynamic Blockage Probability in Industrial Millimeter Wave 5G Deployments // Future Internet. – 2022. – Vol. 14, No. 7. – P. 193.
- 4. Ivanova D., Adou Y., Markova E., Gaidamaka Y. and Samouylov K. Mathematical Framework for Mixed Reservation- and Priority-Based Traffic Coexistence in 5G NR Systems // Mathematics. – 2023. – Vol. 11, No. 4. – P. 1046.
- 5. Иванова Д.В., Жбанкова Е.А., Маркова Е.В., Гайдамака Ю.В. Модели совместного обслуживания трафика eMBB и URLLC на основе приоритетов в промышленных развертываниях 5G NR. Информ. и её примен. – 2023. – Т. 17, № 4. – С. 64–70.
- 6. Иванова Д.В., Жбанкова Е.А., Маркова Е.В., Гайдамака Ю.В. СМО с прерыванием обслуживания для моделирования нарезки радиоресурсов в беспроводных сетях 5G. Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2023. – №65. – С. 36–46.

7. Markova E., Moltchanov D., Pirmagomedov R., Ivanova D., Koucheryavy Y., and Samouylov K. Prioritized Service of URLLC Traffic in Industrial Deployments of 5G NR Systems // Lecture Notes in Computer Science. – Switzerland, Springer International Publishing Switzerland. – 2020. – Vol. 12563. – P. 497–509.
8. Markova E., Moltchanov D., Pirmagomedov R., Ivanova D., Koucheryavy Y., and Samouylov K. Priority-based Coexistence of eMBB and URLLC Traffic in Industrial 5G NR Deployments // Proc. of 12th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT). – 2020. – P. 1–6.
- **Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ:**
9. Иванова Д.В., Маркова Е.В. Расчет характеристик прерывания передачи eMBB трафика в сетях 5G при реализации абсолютного приоритета в обслуживании URLLC // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, № RU2021661768, 15.07.2021 г.
10. Иванова Д.В., Маркова Е.В., Молчанов Д.А. Расчет характеристик прерывания передачи eMBB трафика в сетях 5G при реализации относительного приоритета в обслуживании URLLC трафика // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, № RU2021661641, 14.07.2021 г.

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

- **Горбунова Анастасия Владимировна**, кандидат физико-математических наук (05.13.17 – Теоретические основы информатики), старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук. В отзыве дана положительная оценка диссертации. В качестве недостатка указано что, в тексте автореферата недостаточно полно раскрытое содержание разделов, соответствующих главам диссертационной работы.
- **Зарипова Эльвира Ринатовна**, кандидат физико-математических наук (05.13.17 – Теоретические основы информатики), доцент кафедры компьютерной и информационной безопасности Института искусственного интеллекта Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «МИРЭА - Российский технологический университет». В отзыве дана положительная оценка диссертации. В качестве недостатка указано что, результаты второй главы представлены несколько сжато и было бы уместно для наглядности представить иллюстрацию трех типов передачи данных в рамках промышленного развертывания сетей 5G. Также стратегии разделения ресурсов, анализ которых представлен в третьей главе, требуют более подробного описания. Кроме того, не приведены расшифровки используемых сокращений, например, D2D, а также обозначений для стратегий разделения ресурсов.
- **Бутурлин Иван Александрович**, кандидат физико-математических наук (05.13.17 – Теоретические основы информатики), генеральный директор Государственного унитарного Предприятия города Москвы «Московский социальный регистр». В отзыве дана положительная оценка диссертации. Замечаний нет.

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

Выбор Моисеевой С.П. обоснован тем, что она является крупным специалистом в области теории массового обслуживания. В частности, в сфере ее научных интересов находится вопрос анализа математических моделей систем с приоритетным обслуживанием, 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 Retrial 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.
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.
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.
5. Lisovskaya E., Fedorova E., Salimzyanov R., Moiseeva S. Resource Retrial Queue with Two Orbits and Negative Customers // Mathematics. 2022. Vol. 10, № 3. Art. num. 321.

Выбор Горшенина А.К. обусловлен тем, что он является крупным специалистом в области методов анализа данных и математического моделирования. В частности, в сфере его научных интересов находится вопрос анализа качества каналов связи в сетях передачи данных, что является одним из важных аспектов диссертационного исследования соискателя.

Основные публикации Горшенина А.К. по тематике диссертационного исследования:

1. Gorshenin A.K., Kozlovskaya A.L., Gorbunov S.A., Kochetkova I.A. Mobile network traffic analysis based on probability-informed machine learning approach // Computer Networks, 2024. Vol. 247. Art. No. 110433.
2. Горшенин А.К., Горбунов С.А., Волканов Д.Ю. О кластеризации объектов сетевой вычислительной инфраструктуры на основе анализа статистических

аномалий трафика // Информатика и ее применения, 2023. Т. 17. Вып. 3. С. 76–88.

3. Kushchazli A., Safargalieva A., Kochetkova I., Gorshenin A. Queuing Model with Customer Classes Movement across Server Groups for Analyzing Virtual Machine Migration in Cloud Computing // Mathematics, 2024. Vol. 12. Iss. 3. Art. No. 468.
4. 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, 2022. Vol. 13766. P. 176–189.
5. Kochetkova I., Kushchazli A., Burtseva S., Gorshenin A. Short-Term Mobile Network Traffic Forecasting Using Seasonal ARIMA and Holt-Winters Models // Future Internet, 2023. Vol. 15. Iss. 9. Art. No. 290.

Выбор Агеева К.А. обусловлен тем, что он является специалистом в области анализа систем массового обслуживания. В частности, в сфере его научных интересов находится вопрос анализа механизмов нарезки сети с учетом гарантий для различных типов трафика, что является одним из важных аспектов диссертационного исследования соискателя.

Основные публикации Агеева К.А. по тематике диссертационного исследования:

1. Ageev K., Sopin E., Chursin A., Shorgin S. The probabilistic measures approximation of a resource queuing system with signals // Lecture Notes in Computer Science. 2021. Т. 13144 LNCS. P. 80–91.
2. Ageev K., Garibyan A., Golskaya A., Gaidamaka Yu., Sopin E., Samouylov K., Correia L.M. Modelling of Virtual Radio Resources Slicing in 5G Networks // Communications in Computer and Information Science, 2019, 1109, P. 150–161.
3. Ageev, K., Sopin, E., Samouylov, K. Resource Sharing Model with Minimum Allocation for the Performance Analysis of Network Slicing // Communications in Computer and Information Science, 2021, 1391 CCIS, P. 378–389.
4. Ageev, K.A., Sopin, E.S., Yarkina, N.V., Samouylov, K.E., Shorgin, S.Ya. Analysis of the network slicing mechanisms with guaranteed allocated resources for various traffic types // Информатика и ее Применения, 2020, 14(3), P. 94–100.
5. E. Sopin, K. Ageev, K. Samouylov. Approximate analysis of the limited resources queuing system with signals // Proceedings - European Council for Modelling and Simulation, ECMS: 33, Caserta, 11–14 June 2019. Vol. 33. – Caserta, 2019. – P. 462–465.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- Выполнен анализ особенностей развертывания беспроводных сетей пятого поколения в промышленной среде.
- Разработаны и исследованы марковские модели одновременной передачи различных типов трафика с прерыванием обслуживания в условиях промышленного развертывания беспроводных сетей связи пятого поколения.

- Проведен сравнительный анализ показателей эффективности исследуемой модели для трех стратегий передачи трафика.
- Разработан алгоритм выбора запросов, обслуживание которых должно быть прервано при поступлении запроса на передачу более приоритетного трафика.
- Выполнена численная оптимизация параметров для обеспечения гарантий производительности трафика в моделях совместного обслуживания, а также проведено сравнение пяти стратегий распределения ресурсов, основанных на резервировании и приоритетах.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

Были применены методы теории вероятностей, теории массового обслуживания, математической теории телетрафика и статистического моделирования для построения набора моделей совместного обслуживания трафика с приоритизацией и разделением ресурсов, описанных в виде систем массового обслуживания. Полученные модели могут быть использованы для анализа систем связи, требующих одновременной передачи сверхнадежного трафика с низкими задержками и мобильного трафика широкополосного доступа в условиях промышленного развертывания беспроводных сетей.

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

Разработанные математические модели и программные комплексы могут быть применены для управления ресурсами беспроводных сетей, расчета показателей эффективности и оценки производительности развертывания сетей 5G NR. Полученные в ходе диссертационного исследования результаты могут использоваться операторами для развертывания и эксплуатации сетей 5G NR, а также обеспечения гарантированного уровня качества обслуживания трафика.

Оценка достоверности результатов исследования выявила: достоверность полученных результатов обеспечивается их строгими доказательствами, а также подтверждается численными расчетами и вычислительным экспериментом. Результаты, полученные с помощью разработанного программного комплекса, хорошо согласуются с результатами, полученными с помощью аналитических моделей.

Личный вклад соискателя состоит в построении и исследовании моделей, доказательстве утверждений, разработке алгоритмов и программных средств для проведения численных экспериментов, численном расчете и интерпретации полученных результатов. Программные средства, используемые для численного анализа, разработаны при непосредственном участии автора.

Диссертация Ивановой Дарьи Вадимовны является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится **решение актуальной научной задачи** разработки и анализа марковских моделей одновременной передачи нескольких типов трафика с различными механизмами обслуживания в промышленных развертываниях мобильных сетей.

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