

"УТВЕРЖДАЮ"

Первый проректор-
проректор по научной работе РУДН
доктор медицинских наук, профессор, член-корр. РАН

А.А. Костин

18.09.2024



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (РУДН) на основании решения, принятого на заседании кафедры теории вероятностей и кибербезопасности факультета физико-математических и естественных наук РУДН.

Диссертация «Модели совместного обслуживания трафика с приоритизацией и разделением ресурсов в промышленном развертывании мобильных сетей» выполнена на кафедре теории вероятностей и кибербезопасности факультета физико-математических и естественных наук.

Иванова Дарья Вадимовна, 14.09.1996 года рождения, гражданка России, в 2020 году окончила с отличием магистратуру ФГАОУ ВО РУДН по направлению «Фундаментальная информатика и информационные технологии».

С 22.09.2020 по настоящее время обучается в 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, по которой подготовлена диссертация.

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.

Документ о сдаче кандидатских экзаменов выдан в 2024 году в ФГАОУ ВО РУДН.

Научный руководитель – Маркова Екатерина Викторовна, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры теории вероятностей и кибербезопасности факультета физико-математических и естественных наук РУДН.

Название темы диссертационного исследования в окончательной редакции было утверждено на заседании Ученого совета факультета физико-математических и естественных наук РУДН, 25.06.2024, протокол № 0201-08/11.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Оценка выполненной соискателем работы.

В своем диссертационном исследовании Иванова Дарья Вадимовна исследовала особенности развертывания беспроводных сетей пятого поколения в промышленной среде, разработала и проанализировала марковские модели одновременной передачи различных типов трафика с прерыванием обслуживания в условиях промышленного развертывания беспроводных сетей связи пятого поколения. Провела сравнительный анализ показателей эффективности исследуемой модели для трех стратегий передачи трафика. Разработала алгоритм выбора запросов, обслуживание которых должно быть прервано при поступлении запроса на передачу более приоритетного трафика. Выполнила численную оптимизацию параметров для обеспечения гарантий производительности трафика в моделях совместного обслуживания, а также провела сравнение пяти стратегий распределения ресурсов, основанных на резервировании и приоритетах.

Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации, состоит в:

- разработке модели схемы доступа со снижением скорости передачи эластичного трафика для передачи потокового трафика;
- разработке модели схемы одновременного предоставления услуг с реализацией явного приоритета, учитывающей особенности совместного обслуживания разных типов трафика в условиях промышленного развертывания мобильных сетей;
- проведении сравнительного анализа показателей эффективности модели с потоковым и эластичным трафиком для трех стратегий передачи;
- разработке и анализе модели совместного обслуживания произвольного числа типов трафика с резервированием индивидуальных зон для запросов на передачу трафика каждого типа и приоритетами;
- разработке алгоритма выбора запросов, обслуживание которых должно быть прервано при поступлении запроса на передачу более приоритетного трафика;
- разработке моделей совместного обслуживания потокового и эластичного трафика с резервированием индивидуальных зон для запросов каждого типа с прерыванием передачи эластичного трафика и без прерывания;
- вычислении стационарного распределения вероятностей путем аналитического решения СУР, а также получении элементов матриц интенсивностей переходов, необходимых для численного решения;

- проведении численной оптимизации параметров для обеспечения гарантий производительности трафика в моделях совместного обслуживания;
- проведении сравнительного анализа пяти стратегий распределения ресурсов, основанных на резервировании и приоритетах, с помощью численных методов.

Степень достоверности результатов проведенных исследований.

Достоверность полученных результатов подтверждается применением строгих математических методов из теории вероятностей, теории массового обслуживания, а также математической теории телетрафика в процессе построения и анализа моделей. Также достоверность теоретических результатов диссертации подтверждается численными расчетами на основе программных модулей для анализа моделей СМО.

Основные результаты, полученные в ходе диссертационного исследования, были опубликованы в ведущих научных журналах: Mathematics, Future Internet, IEEE Access, Lecture Notes in Computer Science, Информатика и ее применения, Вестник Томского государственного университета, а также в трудах международных конференций, индексируемых в Web of Science и Scopus, а также докладывались на международной конференции «Distributed Computer and Communication Networks: Control, Computation, Communications» (г. Москва, 2020) и международной конференции «12th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops» (г. Брно, 2020).

Новизна результатов проведенных исследований.

1. Построенная модель схемы одновременного предоставления услуг с реализацией явного приоритета, в отличие от исследуемых ранее моделей, учитывает особенности совместного обслуживания различных типов трафика в промышленных развертываниях беспроводных сетей, а также динамическую блокировку в процессе передачи данных между устройствами.
2. Для модели схемы доступа с резервированием индивидуальных зон, помимо стандартного способа получения стационарного распределения вероятностей путем численного решения системы уравнений равновесия, предложено решение в мультипликативном виде.
3. Построенная модель мультисервисной системы массового обслуживания позволяет провести сравнение различных вариантов стратегий, основанных на приоритетах и резервировании, с точки зрения производительности, ориентированной на пользователя и оператора.
4. Для модели мультисервисной системы с прерыванием обслуживания реализован алгоритм выбора запросов, обслуживание которых должно быть прервано при поступлении более приоритетного запроса. В рамках сравнительного анализа моделей проведена численная

оптимизация параметров для обеспечения гарантий качества обслуживания.

Практическая значимость проведенных исследований.

Полученные в ходе диссертационного исследования результаты могут использоваться операторами для развертывания и эксплуатации сетей 5G NR, а также обеспечения гарантированного уровня качества обслуживания трафика.

Разработанные математические модели и программные комплексы могут быть применены для управления ресурсами беспроводных сетей, расчета показателей эффективности и оценки производительности развертывания сетей 5G NR.

Ценность научных работ соискателя.

В рамках диссертационного исследования Ивановой Дарьи Вадимовны:

- были учтены особенности совместного обслуживания различных типов трафика в промышленных развертываниях беспроводных сетей, а также динамическая блокировка в процессе передачи данных между устройствами;
- была предложена модель мультисервисной СМО с произвольным числом услуг, позволяющая провести сравнение различных вариантов стратегий, основанных на приоритетах и резервировании, с точки зрения производительности, ориентированной на пользователя и оператора.

Соответствие пунктам паспорта научной специальности.

Диссертационное исследование соответствует следующим разделам паспорта специальности 1.2.3. «Теоретическая информатика, кибернетика»: **п. 9** «Математическая теория исследования операций» в части исследования и разработки моделей систем массового обслуживания; **п. 11** «Распределенные многопользовательские системы» в части моделирования разделения ресурсов сети между различными типами трафика; **п. 12** «Модели информационных процессов и структур» в части моделирования схемы управления доступом к радиоресурсам сети.

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем.

Основные результаты, изложенные в диссертационной работе, опубликованы в 7 печатных изданиях [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7], входящих в базу данных Scopus/Web of Science, в 2 свидетельствах о государственной регистрации программ для ЭВМ [8, 9]. Основные положения и результаты диссертации отражены в следующих опубликованных работах:

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. Kondratyeva A., Ivanova D., Begishev V., Markova E., Mokrov E., Gaidamaka Y., Samouylov K. Characterization of Dynamic Blockage Probability in Industrial Millimeter Wave 5G Deployments // Future Internet. – 2022. – Vol. 14, No. 7.
 3. 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.
 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.
 5. 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.
 6. Markova E., Moltchanov D., Pirmagomedov R., Ivanova D., Koucheryavy Y., 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.
 7. 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.
 8. 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.
 9. 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.

Текст диссертации был проверен на использование заимствованного материала без ссылки на авторов и источники заимствования. После исключения всех корректных совпадений иных заимствований не обнаружено.

Диссертационная работа Ивановой Дарьи Вадимовны рекомендуется к публичной защите на соискание ученой степени кандидата физико-

математических наук по специальности 1.2.3. Теоретическая информатика, кибернетика.

Заключение принято на заседании кафедры теории вероятностей и кибербезопасности факультета физико-математических и естественных наук РУДН.

Присутствовало на заседании 25 чел.

Результаты голосования: «за» – 25 чел., «против» – 0 чел., «воздержалось» – 0 чел.

17.09.2024, протокол № 0200-54/01-04/02.

Председательствующий на заседании:
заведующий кафедрой теории вероятностей
и кибербезопасности,
доктор технических наук, профессор

К.Е. Самуйлов

Подпись удостоверяю.
Ученый секретарь Ученого совета
факультета физико-математических
и естественных наук РУДН,
кандидат физико-математических наук



И.С. Зарядов