

"УТВЕРЖДАЮ"

И.о. первого проректора-
проректора по научной работе РУДН



А.С. Борисова

12.05.2026

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-математический и естественных наук РУДН.

Диссертация «Модели ресурсных систем массового обслуживания и их применения к анализу и расчету показателей эффективности беспроводных сетей» выполнена на кафедре теории вероятностей и кибербезопасности факультета физико-математических и естественных наук РУДН.

Сопин Эдуард Сергеевич 1987 года рождения, гражданин России, в 2010 году окончил (с отличием) Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Российский университет дружбы народов» по направлению «Прикладная математика и информатика».

В 2013 году в диссертационном совете при Российском университете дружбы народов защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук на тему «Модели систем ограниченной емкости с групповым входящим потоком и их применение к анализу показателей эффективности серверов протокола установления сессий».

В 2020 году присвоено ученое звание доцента по специальности «Теоретические основы информатики».

В период подготовки диссертации являлся сначала старшим преподавателем и доцентом кафедры прикладной информатики и теории вероятностей (01.09.2014 – 31.08.2023), потом доцентом кафедры теории вероятностей и кибербезопасности РУДН, где и работает с 01.09.2023 по настоящее время.

Научный консультант – Самуйлов Константин Евгеньевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теории вероятностей и кибербезопасности федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы».

Научный консультант и тема диссертационного исследования утверждены на заседании Ученого совета факультета физико-математических и естественных наук РУДН 18.05.2021, протокол № 0201-08/11.

Название темы диссертационного исследования в окончательной редакции утверждено на заседании Ученого совета факультета физико-математических и естественных наук РУДН 17.03.2026, протокол № 0200-УСП-9.

Оценка выполненной соискателем работы. Диссертация Сопина Э.С. является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных соискателем исследований решена важная научная проблема разработки моделей ресурсных систем массового обслуживания, методов их анализа и расчета для оценки показателей эффективности технологий радиодоступа беспроводных сетей, имеющая важное значение для развития теоретических основ информатики.

Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации. Сопин Э.С. лично получил основные результаты диссертации. Он лично участвовал во всех этапах исследования, выполнил апробацию результатов исследования, разработал сценарии для проведения численных экспериментов. При непосредственном участии Сопина Э.С. обработаны результаты численных экспериментов, выполнена их интерпретация, подготовлены основные публикации по работе.

Степень достоверности результатов проведенных исследований. Достоверность полученных Сопиным Э.С. результатов обеспечена математически корректными доказательствами теорем, утверждений и следствий из них, корректностью разработанных математических моделей, использованием известных фундаментальных результатов и соответствием полученных теоретических результатов данным вычислительных экспериментов, в том числе с применением методов имитационного моделирования, а также качественным совпадением частных случаев разработанных моделей с известными результатами исследований других авторов.

Новизна результатов проведенных исследований.

1. Разработан новый сверточный алгоритм вычисления вероятностных характеристик ресурсной системы массового обслуживания с пуассоновским входящим потоком и дискретной функцией распределения требований к ресурсам.
2. Доказана теорема о нечувствительности стационарного распределения ресурсной системы с пуассоновским входящим потоком и интенсивностями поступления и обслуживания, зависящими от состояния системы, к виду функции распределения времени обслуживания. Ранее свойство было известно для ресурсных систем с постоянными интенсивностями поступления и обслуживания.
3. Разработана новая модель ресурсной системы массового обслуживания с сигналами, при поступлении которых заявка изменяет требуемый объем ресурсов. Ранее в моделях с сигналами не учитывались случайные требования заявок к ресурсам. Кроме того, ранее не учитывалась возможность потери заявки при поступлении сигнала.
4. Разработан новый метод приближенного анализа ресурсной системы массового обслуживания с сигналами с использованием имитирующей системы без сигналов, но с дополнительным потоком заявок, интенсивность которого рассчитывается итерационно. В отличие от предложенных ранее, для расчета вероятности прерывания используется не распределение по времени, а распределение по цепи Маркова, вложенной по моментам окончания обслуживания.
5. Применения ресурсных систем к анализу беспроводных сетей позволили учесть при расчете показателей эффективности основные их особенности: механизмы выделения радиоресурсов в зависимости от используемой кодово-модуляционной схемы, подвижность пользовательских устройств, возникновение блокировок прямого пути распространения сигнала в сетях миллиметрового диапазона частот и связанных с ними нестабильностью радиоканала, а также механизмы резервирования ресурсов, мультисвязности и выгрузки, призванные повысить показатели непрерывности сессий передачи данных и увеличить емкость сети.

Практическая значимость проведенных исследований.

Значение полученных Сопиным Э.С. результатов работы для практики подтверждается тем, что были разработаны вычислительные алгоритмы и программные средства, предназначенные для расчета показателей качества обслуживания в беспроводных сетях. На отдельные модули программных

средств получены свидетельства о государственной регистрации. Кроме того, предложенные методы анализа и расчета механизмов повышения показателей непрерывности сессий передачи данных и технологий выгрузки трафика в сценариях, близких к реальным, могут быть использованы стандартизирующими организациями и производителями оборудования для выработки рекомендаций по применению этих механизмов в сетях радиодоступа пятого и шестого поколений.

Ценность научных работ соискателя.

Научные результаты работы использованы в пяти научно-исследовательских работах, выполненных под непосредственным руководством Сопина Э.С. По материалам диссертации получены 15 свидетельств на программы для ЭВМ, представляющие ценность в качестве информационного средства поддержки решений операторов связи и производителей оборудования в области высокочастотных мобильных сетей.

Соответствие пунктам паспорта научной специальности.

Диссертационное исследование соответствует паспорту специальности 1.2.3. «Теоретическая информатика, кибернетика», а именно

п. 11 «Распределенные многопользовательские системы» в части применения разработанных ресурсных моделей к анализу сетей мобильной связи;

п. 12 «Модели информационных процессов и структур» в части разработки моделей обслуживания сессий передачи данных в сетях радиодоступа пятого и последующих поколений;

п. 25 «Методы высоконадежной обработки информации и обеспечения помехоустойчивости информационных коммуникаций для целей передачи, хранения и защиты информации» в части исследования механизмов снижения вероятности прерывания сессий передачи данных в высокочастотных сетях радиодоступа.

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем. Основные научные результаты диссертации изложены в 85 опубликованных работах, из них 50 работ опубликованы в изданиях, индексируемых в международных базах индексации и цитирования (МБЦ) Web of Science и Scopus, 8 работ в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в наукометрической базе данных RSCI, 1 работа в рецензируемом научном издании, входящем в перечень ВАК РФ. По теме работы автор также имеет 15 зарегистрированных свидетельств на программу для электронных вычислительных машин, 2 монографии и 3 учебных пособия.

Основные положения и результаты работы Сопина Э.С. отражены в следующих публикациях:

1. Sopin E., Samouylov K., Vikhrova O., Kovalchukov R., Moltchanov D., Samuylov A. Evaluating a case of downlink uplink decoupling using queuing system with random requirements // *Lecture Notes in Computer Science*. — 2016. — Vol. 9870. — P. 440-450.
2. Sopin E.S., Samouylov K.E. On the analysis of the limited resources queuing system under MAP arrivals // *ITM Web of Conferences*. — 2017. — Vol. 16.
3. Самуйлов К.Е., Сопин Э.С., Шоргин С.Я. Система массового обслуживания с ограниченными ресурсами и сигналами для анализа показателей эффективности беспроводных сетей // *Информатика и её применения*. — 2017. — Т. 11. — № 3. — С. 99-105.
4. Sopin E.S., Vikhrova O.G. Probability characteristics evaluation in queueing system with random requirements // *CEUR Workshop Proceedings*. — 2017. — Vol. 1995. — P. 85-92.
5. Sopin E.S., Ageev K.A., Markova E.V., Vikhrova O.G., Gaidamaka Yu.V. Performance Analysis of M2M Traffic in LTE Network Using Queuing Systems with Random Resource Requirements // *Automatic Control and Computer Sciences*. — 2018. — Vol. 52. — No. 5. — P. 345-353.
6. Сопин Э.С., Наумов В.А., Самуйлов К.Е. Об инвариантности стационарного распределения системы массового обслуживания с ограниченными ресурсами и с интенсивностями поступления и обслуживания, зависящими от состояния системы // *Информатика и её применения*. — 2018. — Т. 12. — № 3. — С. 42-47.
7. Samouylov K.E., Gaidamaka Y.V., Sopin E.S. Simplified analysis of queueing systems with random requirements // *Springer Proceedings in Mathematics and Statistics*. — 2018. — Vol. 231. — P. 381-390.
8. Begishev V., Moltchanov D., Sopin E., Samuylov A., Andreev S., Koucheryavy Y., Samouylov K. Quantifying the Impact of Guard Capacity on Session Continuity in 3GPP New Radio Systems // *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. — 2019. — Vol. 68. — No. 12. — P. 12345-12359.
9. Ageev K., Sopin E., Shorgin S., Chursin A. The Probabilistic Measures Approximation of a Resource Queuing System with Signals // *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*. — 2021. — Vol. 13144. — P. 80-91.

10. Begishev V., Sopin E., Moltchanov D., Kovalchukov R., Samuylov A., Andreev S., Koucheryavy Y., Samouylov K. Joint Use of Guard Capacity and Multiconnectivity for Improved Session Continuity in Millimeter-Wave 5G NR Systems // IEEE Transactions on Vehicular Technology. — 2021. — Vol. 70. — No. 3. — P. 2657-2672.
11. Moltchanov D., Sopin E., Begishev V., Samuylov A., Koucheryavy Y., Samouylov K. A Tutorial on Mathematical Modeling of 5G/6G Millimeter Wave and Terahertz Cellular Systems // IEEE Communications Surveys and Tutorials. — 2022. — Vol. 24. — No. 2. — P. 1072-1116.
12. Sopin E., Moltchanov D., Daraseliya A., Koucheryavy Y., Gaidamaka Y. User Association and Multi-Connectivity Strategies in Joint Terahertz and Millimeter Wave 6G Systems // IEEE Transactions on Vehicular Technology. — 2022. — Vol. 71. — No. 12. — P. 12765-12781.
13. Daraseliya A., Sopin E., Moltchanov D., Koucheryavy Y., Samouylov K. Performance of Offloading Strategies in Collocated Deployments of Millimeter Wave NR-U Technology // IEEE Transactions on Vehicular Technology. — 2023. — Vol. 72. — No. 2. — P. 2535-2549.
14. Sopin E., Moltchanov D., Maslov A., Begishev V., Samuylov A., Samouylov K., Koucheryavy Y. User Persistence in 5G/6G mmWave/Sub-THz Systems With Blockage: Does It Pay Off? // IEEE Transactions on Wireless Communications. — 2024. — Vol. 23. — User Persistence in 5G/6G mmWave/Sub-THz Systems With Blockage. — No. 10. — P. 14864-14878.
15. Maslov A., Sopin E., Samouylov K. Accurate Approximation for Resource Queuing Systems with Losses and Signals // Mathematics. — 2025. — Vol. 13. — No. 4. — P. 619.

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 Сопина Эдуарда Сергеевича рекомендуется к публичной защите на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.2.3 «Теоретическая информатика, кибернетика».

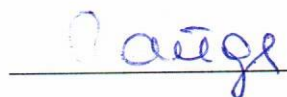
Заключение принято на заседании кафедры теории вероятностей и кибербезопасности РУДН.

Присутствовало на заседании кафедры теории вероятностей и кибербезопасности 31 чел.

Результаты голосования: «за» – 31 чел., «против» – 0 чел., «воздержалось» – 0 чел.

21.04.2026, протокол № 0200-54/01-БУП-11 .

Председательствующий на заседании:
профессор кафедры
теории вероятностей и кибербезопасности,
доктор физико-математических наук,
профессор



Ю.В. Гайдамака

Подпись Гайдамака Ю.В. удостоверяю.
Ученый секретарь Ученого совета
факультета ФМиЕН РУДН



И.С. Зарядов