

ОТЗЫВ

Цитовича Ивана Ивановича

на диссертационную работу Кочетковой Ирины Андреевны
на тему «Модели для анализа эффективности приоритетного доступа
в беспроводных сетях с эластичным и потоковым трафиком»,
представленную к защите в ПДС 0200.006 на базе
Российского университета дружбы народов имени Патриса Лумумбы
на соискание ученой степени доктора физико-математических наук
по специальности 1.2.3 – Теоретическая информатика, кибернетика

Диссертационная работа Кочетковой Ирины Андреевны «Модели для анализа эффективности приоритетного доступа в беспроводных сетях с эластичным и потоковым трафиком» посвящена решению фундаментальной научной проблемы, имеющей важное теоретическое и прикладное значение, – созданию математического аппарата для анализа и оптимизации приоритетного доступа в перспективных беспроводных сетях.

Эволюция сетей связи в сторону архитектур 5G/6G, сопровождающаяся появлением новых услуг (URLLC, mMTC, eMBB) и технологий (сетевая нарезка, совместное использование спектра), порождает класс сложных систем доступа к ресурсам. Эти системы характеризуются гетерогенностью трафика, жесткими и противоречивыми требованиями к качеству обслуживания (QoS), а также необходимостью динамического перераспределения ограниченных ресурсов. Существующие аналитические модели зачастую не в состоянии адекватно описать такие сценарии. Возникает необходимость адаптации и развития классического аппарата математической теории телетрафика и теории массового обслуживания. Традиционные модели с линейной приоритезацией и фиксированными политиками доступа не учитывают комплексного взаимодействия механизмов прерывания, приостановки, снижения скорости и мощности, а также влияния внешних событий и ненадежности каналов связи в современных беспроводных средах. Представленная диссертационная работа направлена на восполнение этого пробела.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Введение содержит обоснование актуальности, цель и задачи исследования, а также комплекс положений, выносимых на защиту. В главе 1 проведен анализ современных тенденций в беспроводных сетях, включая механизмы обеспечения качества обслуживания (QoS), технологию нарезки сети (network slicing) и системы совместного использования спектра (spectrum sharing). Вводится матрица приоритетов для описания схем доступа, исследуемых в диссертации.

Главы 2-5 представляют собой систематическое изложение разработанного автором комплекса математических моделей и методов их исследования. Глава 2 посвящена моделям с потоковым трафиком и постоянным ресурсом, где исследуются взаимодействия между классами услуг (URLLC и eMBB, одноадресные и многоадресные сервисы). Глава 3 рассматривает случай эластичного трафика, включая сценарии с минимальной гарантированной скоростью и динамическим перераспределением ресурсов между сегментами сети (нарезка). Главы 4 и 5 вводят в анализ факторы ненадежности и совместного использования ресурсов – это учет блокировок в mmWave-диапазоне, приоритетный доступ владельца лицензии частот. Все модели – системы с орбитами, ресурсные СМО, управляемые системы и системы с ненадежными приборами – построены в рамках единой концепции, использующей матрицу приоритетов и описываются как марковские процессы. Для каждой модели разрабатываются алгоритмы расчета стационарных характеристик (матричные, рекуррентные).

Достоверность результатов работы обеспечивается тем, что все построенные модели основаны на строгом аппарате теории марковских процессов и теории массового обслуживания. Переход от описания телекоммуникационной системы к ее формальной математической модели осуществляется с явным указанием допущений, что позволяет четко определить границы применимости полученных результатов. Представленные в работе доказательства теорем и лемм являются корректными. Основные результаты работы прошли международную экспертизу, о чем свидетельствует 31 публикация в рецензируемых журналах, индексируемых в базах данных Scopus и Web of Science.

Научная новизна работы заключается в том, что предложено описание схем приоритетного доступа с помощью матрицы приоритетов, которая является развитием классической нотации Башарина–Кендалла. Данный формализм позволяет учесть взаимные приоритеты для каждой пары классов заявок, возможность снижения скорости, влияние внешних событий и структуру ресурса, в отличие от моделей с линейным порядком приоритетов. Для каждого класса разработанных моделей предложены эффективные алгоритмы анализа (матричные, рекуррентные, алгоритмы символьного вычисления преобразований Лапласа–Стилтьеса), позволяющие преодолеть вычислительные трудности, связанные с ростом размерности задач. Создан комплекс марковских моделей, охватывающих ранее не исследованные в подобной полноте сценарии: модели доступа для URLLC и eMBB трафика с использованием систем с орбитами и ресурсных СМО со снижением мощности сигнала, модели взаимного приоритета одноадресного и многоадресного трафика с различными дисциплинами мультимедиа, модели управления перераспределением ресурса при нарезке сети на основе марковского

процесса принятия решений, модели обслуживания трафика в условиях ненадежности канала связи, учитывающие МАР-потоки и конечные очереди.

Высокая степень обоснованности всех научных положений и выводов работы обеспечивается строгим применением аппарата марковских процессов и теории массового обслуживания. Аналитические результаты (теоремы, алгоритмы) имеют корректные доказательства.

Научная ценность работы заключается в развитии математического аппарата теории телетрафика и теории массового обслуживания. Разработанный комплекс моделей, объединенный концепцией матрицы приоритетов, представляет собой инструмент для анализа сложных систем с нелинейными схемами приоритезации. Методологический вклад работы проявляется в модернизации классификации Башарина-Кендалла. Практическая ценность результатов выражается в том, что разработанные модели и алгоритмы позволяют операторам связи и производителям оборудования проводить количественную оценку эффективности различных сценариев использования сетей 5G/6G на этапе проектирования и оптимизации. Результаты работы были использованы в выполненных научно-исследовательских работах по грантам, что свидетельствует об их востребованности для решения актуальных прикладных задач. Созданные на основе результатов работы программы для ЭВМ и учебные курсы способствуют подготовке высококвалифицированных кадров.

Основные научные результаты диссертационной работы прошли широкую научную апробацию и в полном объеме опубликованы в авторитетных российских и международных изданиях. Общее количество публикаций по теме диссертации составляет 55 работ, что существенно превышает установленные требования. Наиболее значимыми являются 31 работа, индексируемая в международных базах цитирования Scopus и Web of Science, включая статьи в высокорейтинговых журналах Q1/Q2 (Mathematics, Future Internet, Journal of Sensor and Actuator Networks и др.). Публикации в рецензируемых журналах RSCI (12 работ) и в издании из перечня ВАК (1 работа) дополнительно подтверждают признание результатов российским научным сообществом.

Автореферат полностью и адекватно отражает основное содержание и научные результаты диссертации. Все ключевые элементы исследования нашли свое отражение в автореферате.

Оценка работы положительная, однако имеются несколько замечаний:

1. Отсутствует анализ границ применимости численных методов и путей преодоления вычислительных трудностей при росте размерности моделей.
2. Не представлены удобные для инженеров практические рекомендации в виде таблиц для типовых сценариев.

3. Не проведен сравнительный анализ вычислительной эффективности предложенных алгоритмов в зависимости от размерности решаемых задач.
4. Отсутствует перечень исходных данных, использованных в численных экспериментах, что затрудняет оценку адекватности моделей и воспроизведение результатов.

Отмеченные замечания не уменьшают высокой оценки проделанной работы.

Диссертационное исследование Кочетковой Ирины Андреевны является законченной научно-квалификационной работой, соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, согласно п. 2.1 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 протокол № УС-1 от 22.01.2024 г., а ее автор, Кочеткова Ирина Андреевна, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.2.3 – Теоретическая информатика, кибернетика.

Цитович Иван Иванович, доктор физико-математических наук (05.13.17 – Теоретические основы информатики), доцент, профессор кафедры алгоритмов и технологий программирования физтех-школы прикладной математики и информатики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)», e-mail: tsit@mail.ru.



Цитович Иван Иванович

« ____ » _____

2025 г.

Подпись Цитовича И.И. заверяю

адм. канцел
Юлия Давыдова

« 29 »

октября

2025 г.



Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)»

Адрес: 117303 Москва, ул. Керченская, д. 1А, корп. 1

Тел.: +7 (495) 408-45-54. Факс: +7 (495) 408-68-69. E-mail: info@mipt.ru

Страница в интернете: <https://mipt.ru/>

О Т З Ы В

Ибрагимова Байрама Ганимат оглы на автореферат диссертации Кочетковой Ирины Андреевны на тему «Модели для анализа эффективности приоритетного доступа в беспроводных сетях с эластичным и потоковым трафиком», представленную к защите в ПДС 0200.006 на базе Российского университета дружбы народов имени Патриса Лумумбы на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.2.3 – Теоретическая информатика, кибернетика.

Проведенное исследование Кочетковой Ирины Андреевны «Модели для анализа эффективности приоритетного доступа в беспроводных сетях с эластичным и потоковым трафиком» представляется актуальным в контексте современных вызовов, стоящих перед разработчиками телекоммуникационных систем следующего поколения.

Бурное развитие технологий 5G/6G, активное внедрение архитектурных концепций Network 2030 и Internet of Things, а также стремительный рост разнородных сервисов, предъявляющих противоречивые требования к параметрам качества обслуживания, обуславливают необходимость создания новых математических моделей и алгоритмов управления сетевыми ресурсами. Особую значимость приобретает решение задач эффективного обслуживания трафика в условиях совместного использования ограниченного радиочастотного спектра различными классами пользователей и служб, что требует разработки совершенных механизмов приоритизации и адаптивного распределения пропускной способности.

Актуальность диссертационного исследования дополнительно подчеркивается необходимостью обеспечения строгих требований к задержкам и надежности передачи данных для услуг сверхнадежной связи с малой задержкой (URLLC) при одновременном поддержании высокой пропускной способности для широкополосных приложений (eMBB). Предложенный в работе системный подход к созданию комплекса моделей приоритетного доступа, учитывающих особенности как эластичного, так и потокового трафика, позволяет адекватно описывать процессы в современных беспроводных сетях и разрабатывать эффективные алгоритмы управления качеством обслуживания, что соответствует стратегическим направлениям развития телекоммуникационной отрасли.

Структура и содержание диссертационной работы отражают комплексный подход к решению поставленных научных задач. В первой главе проведен аналитический обзор современных тенденций развития беспроводных сетей и существующих методов моделирования систем приоритетного доступа, на основе которого сформулирована методология построения разрабатываемых моделей. Особое внимание уделено анализу особенностей обслуживания мультисервисного трафика в условиях архитектурной концепции NGN, что позволило выявить ключевые проблемы, требующие решения, и определить направления собственных исследований автора.

Последующие главы последовательно раскрывают разработанные математические модели для анализа различных сценариев приоритетного доступа. Детально исследованы схемы обслуживания потокового трафика с механизмами прерывания и приостановки сессий, модели с эластичным трафиком и требованиями к минимальной скорости передачи, а также системы с ненадежными ресурсами и динамическим перераспределением пропускной

способности. Для каждого класса моделей предложен соответствующий математический аппарат – от классических систем массового обслуживания до управляемых марковских процессов и ресурсных систем с зависимым занятием различных типов ресурсов.

Важным достижением работы является разработка унифицированного подхода к формализации схем приоритетного доступа через введение матрицы приоритетов, позволяющей учитывать сложные взаимовлияния различных классов трафика и внешних событий. Этот подход реализован в виде модификации классической нотации Башарина-Кендалла, что позволило создать единое описание для всего комплекса разработанных моделей.

Научная новизна работы проявляется в моделировании новых систем приоритетного доступа. Ключевым является создание модифицированной нотации Башарина-Кендалла с введением матрицы приоритетов, позволяющей формализовать сложные схемы взаимного влияния классов трафика. Существенной новизной обладают предложенные модели с орбитами для широкополосного трафика, учитывающие задержки на повторные попытки передачи, а также схемы взаимного приоритета для одноадресного и многоадресного трафика с различными режимами мультимедиа.

Особого внимания заслуживают разработанные модели с управлением перераспределением ресурсов по сигналам контроллера сетевой нарезки, а также модели с гистерезисным управлением доступом к ненадежным ресурсам. Новизна подтверждается и предложенными алгоритмами расчета стационарных характеристик, включая рекуррентные алгоритмы снижения размерности и матричные алгоритмы для символьного вычисления преобразований Лапласа-Стилтьеса, что в совокупности представляет значительный вклад в развитие математического аппарата теории телетрафика.

Научная ценность работы заключается в существенном развитии математического аппарата теории телетрафика и создании единого методологического подхода к моделированию сложных систем приоритетного доступа в беспроводных сетях. Практическая значимость подтверждается возможностью применения результатов исследования операторами связи при проектировании сетей 5G/6G, разработке систем управления радиоресурсами и оптимизации качества обслуживания в технологиях Network Slicing, LSA и других перспективных архитектурах беспроводного доступа.

В ходе ознакомления с авторефератом диссертации были выявлены отдельные замечания, которые, однако, не снижают общей высокой оценки работы:

1. Недостаточно полно освещены вопросы учета нестационарных характеров потоков запросов на передачу трафика, что может ограничивать адекватность моделей в условиях реальной эксплуатации сетей с меняющейся нагрузкой.
2. Перспективным направлением исследований могло бы стать расширение разработанных моделей интеллектуальными алгоритмами управления на основе машинного обучения как составных частей архитектуры сетей 2030+.

Указанные замечания носят характер рекомендаций по дальнейшему развитию исследования и не снижают научной ценности полученных результатов.

Диссертационное исследование Кочетковой Ирины Андреевны является законченной научно-квалификационной работой, соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, согласно п. 2.1 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 протокол

№ УС-1 от 22.01.2024 г., а ее автор, Кочеткова Ирина Андреевна, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.2.3 – Теоретическая информатика, кибернетика.

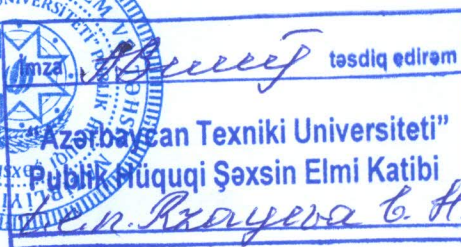
Ибрагимов Байрам Ганимат оглы, доктор технических наук (05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций), профессор кафедры “Радиоэлектроники и аэрокосмических систем” Азербайджанского технического университета, e-mail: i.bayram@mail.ru.

Ибрагимов

Ибрагимов Байрам Ганимат оглы

« 23 » октября 2025 г.

Подпись Ибрагимова Б.Г.о. заверяю



« 23 » октября 2025 г.

Азербайджанский технический университет

Адрес: Азербайджанская Республика, AZ1100 Баку, просп. Г. Джавида, д. 25

Тел.: +(994 12) 538-33-83. Факс: +(994 12) 538-32-80. E-mail: aztu@aztu.edu.az

Страница в интернете: <https://aztu.edu.az/en>.

ОТЗЫВ

Фархадова Маиса Паша оглы
на автореферат диссертации Кочетковой Ирины Андреевны
на тему «Модели для анализа эффективности приоритетного доступа
в беспроводных сетях с эластичным и потоковым трафиком»,
представленную к защите в ПДС 0200.006 на базе
Российского университета дружбы народов имени Патриса Лумумбы
на соискание ученой степени доктора физико-математических наук
по специальности 1.2.3 – Теоретическая информатика, кибернетика

Актуальность темы диссертации Кочетковой Ирины Андреевны «Модели для анализа эффективности приоритетного доступа в беспроводных сетях с эластичным и потоковым трафиком» не вызывает сомнений. Эволюция сетей связи в сторону 5G и 6G, сопровождающаяся взрывным ростом разнородных услуг – от критических приложений с ультранизкими задержками до широкополосного доступа, – формирует принципиально новые требования к инфраструктуре. Ограниченность радиочастотного спектра и необходимость гарантированного качества обслуживания для гетерогенного трафика создают комплекс задач, требующих решения. Ключевой вызов современных беспроводных сетей — обеспечение качественного обслуживания разнородного трафика с диаметрально противоположными требованиями: потоковый трафик (видеоконференции, онлайн-игры, промышленный IoT, управление различными роботами) требует низких задержек, малого дрожания цифрового сигнала данных и гарантированной полосы пропускания. Часто пришедшие с задержкой пакеты бесполезны; эластичный трафик (файловые загрузки, электронная почта, веб-серфинг) терпим к задержкам, но требует гарантированной доставки и максимально возможной пропускной способности. Приоритетный доступ является классическим механизмом для разрешения этого конфликта. Однако его эффективность в условиях сложных современных сценариев (например, массовый IoT, сетевые срезы) требует новых, более точных моделей и методов анализа. Диссертационная работа Кочетковой И.А. выполнена в русле этих актуальных вызовов.

Что касается содержания диссертации, следует отметить ее структурную целостность и логическую завершенность. Автором проведен аналитический обзор, демонстрирующий свободное владение предметной областью, от

классических основ теории телетрафика до современных механизмов приоритизации. Особого внимания заслуживает предложенная модернизация классификации моделей математической теории телетрафика в обозначениях Башарина-Кендалла. Матрица приоритетов для анализа приоритетного доступа в беспроводных сетях представляет собой таблицу, где по каждой строке и столбцу находятся классы заявок, а ячейки содержат информацию о приоритете между ними. Эта матрица позволяет гибко и адекватно описывать сложные, нелинейные взаимодействия между классами трафика и внешними событиями в современных беспроводных средах, что значительно повышает адекватность модельного аппарата.

Введена модернизация существующей классификации моделей математической теории телетрафика в обозначениях Башарина – Кендалла, отражающая в виде матрицы приоритетов особенности приоритетного доступа в современных беспроводных сетях – приоритет для каждой пары классов заявок, возможность снижать скорость, учитывать структуру и разные типы ресурса, влияние на систему внешних событий.

Представленный комплекс моделей обладает несомненной научной новизной. Разработанные модели сочетают системы с орбитами, ненадежные ресурсы, марковские потоки и ресурсные системы. Они позволяют учитывать такие важные аспекты реальных систем, как блокировки в миллиметровом диапазоне, коррелированный характер нагрузки, возможность приостановки и снижения скорости сессий. Автор применяет марковские процессы принятия решений и элементы машинного обучения для задач управления ресурсами. Достоверность этих результатов подкрепляется не только корректным использованием фундаментального математического аппарата, но и верификацией с помощью дискретно-событийного моделирования.

Предложенные алгоритмы расчета – матричные, рекуррентные, алгоритмы символьного вычисления преобразований Лапласа-Стилтьеса – адекватны и эффективны для решения поставленных задач. Эти алгоритмы подходят для расчета конкретных показателей эффективности, таких как вероятности прерывания, средние скорости и время передачи.

С научной точки зрения, работа вносит существенный вклад в математическую теорию телетрафика. С практической стороны, разработанные

модели и алгоритмы позволяют проводить целенаправленный выбор политик управления ресурсами в таких технологически сложных сценариях, как нарезка сети (network slicing), совместное использование лицензируемых частот (LSA) и обеспечение сверхнадежной связи (URLLC). Это напрямую влияет на экономическую эффективность и производительность телекоммуникационной инфраструктуры. Предложенные модели являются фундаментом для создания программного инструмента анализа, способного сократить время и стоимость планирования беспроводной инфраструктуры для операторов связи и могут быть применены для решения задач проектирования и оптимизации беспроводных сетей следующего поколения.

Факт использования результатов в учебном процессе и научно-исследовательских работах лишь подтверждает их жизнеспособность и востребованность.

В качестве замечаний, которые носят характер пожеланий для будущих исследований, отмечу следующее:

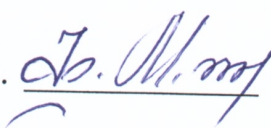
1. Было бы интересно увидеть исследование устойчивости (робастности) предложенных политик управления к отклонениям статистических характеристик входящих потоков и времени обслуживания от расчетных.
2. Перспективным направлением может стать интеграция в модельный аппарат более современных методов искусственного интеллекта, например, графовых нейронных сетей, для управления в условиях высокой динамики и неопределенности, что могло бы стать естественным развитием заложенных в работе идей.

Данные комментарии представляют собой советы по продолжению исследования и не влияют на научную значимость полученных результатов.

Работа выполнена на высоком научно-техническом уровне с использованием современного математического аппарата. Диссертационное исследование Кочетковой Ирины Андреевны является законченной научно-квалификационной работой, соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, согласно п. 2.1 раздела II Положения о присуждении ученых степеней в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса

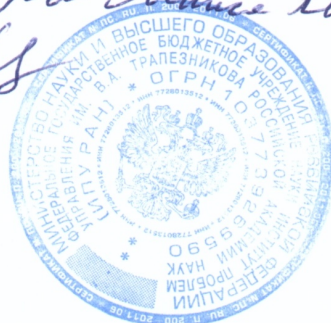
Лумумбы», утвержденного ученым советом РУДН протокол № УС-1 от 22.01.2024 г., а ее автор, Кочеткова Ирина Андреевна, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.2.3 – Теоретическая информатика, кибернетика.

Фархадов Маис Паша оглы, доктор технических наук (05.13.15 – Вычислительные машины, комплексы и компьютерные сети), старший научный сотрудник, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией 17 эргатических систем Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук (ИПУ РАН), e-mail: mais@ipu.ru

Г.н.с., зав.лаб. №17 ИПУ РАН, д.т.н.  Фархадов Маис Паша оглы
«27» октября 2025 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова
Российской академии наук
Адрес: 117997 Москва, ул. Профсоюзная, д. 65
Тел.: +7 495 334-89-10.
Факс: +7 495 334-93-40, +7 499 234-64-26.
E-mail: dan@ipu.ru
Страница в интернете: <https://www.ipu.ru>

Подпись 
ЗАВЕРЯЮ
ВЕД. ИНЖЕНЕР
Заложнева Л.Л. 



ОТЗЫВ

Сухомлина Владимира Александровича
на автореферат диссертации Кочетковой Ирины Андреевны
на тему «Модели для анализа эффективности приоритетного доступа
в беспроводных сетях с эластичным и потоковым трафиком»,
представленную к защите в ПДС 0200.006 на базе
Российского университета дружбы народов имени Патриса Лумумбы
на соискание ученой степени доктора физико-математических наук
по специальности 1.2.3 – Теоретическая информатика, кибернетика

Работа Кочетковой Ирины Андреевны «Модели для анализа эффективности приоритетного доступа в беспроводных сетях с эластичным и потоковым трафиком» посвящена исключительно востребованной в современных телекоммуникациях проблеме – разработке и анализу математических моделей приоритетного доступа в условиях совместного обслуживания разнородных типов трафика в перспективных беспроводных сетях. Актуальность темы не вызывает сомнений, учитывая глобальный переход к сетям пятого и шестого поколений, где жесткие требования к задержкам, надежности и пропускной способности становятся критическими для широкого класса приложений – от интернета вещей и промышленных систем до сверхнадежной связи с малой задержкой.

Автором разработан комплекс взаимосвязанных марковских моделей, охватывающих широкий спектр сценариев приоритетного доступа – от классических систем с прерыванием и приостановкой обслуживания до современных кейсов нарезки сетевых ресурсов и совместного использования радиочастот. Особенно следует отметить введение матрицы приоритетов, которая позволила унифицировать описание сложных схем взаимодействия разнородных типов трафика, выйдя за рамки традиционного линейного упорядочения классов обслуживания. Проведен анализ стационарных режимов систем с орбитами, исследование управляемых марковских процессов и ресурсных систем массового обслуживания. Автор предлагает практические алгоритмы расчета ключевых показателей эффективности – от вероятностно-временных характеристик до моментов времени передачи данных, что свидетельствует о завершенности проведенного исследования.

Научная новизна работы проявляется не только в предложенной общей схеме описания приоритетного доступа, но и в содержательных результатах. К ним можно отнести разработку моделей доступа для узкополосного и широкополосного трафика с использованием систем с орбитами, анализ сценариев с частично ненадежным ресурсом, а также построение алгоритмов поиска политик управления на основе марковских процессов принятия решений и методов машинного обучения. Особо отмечаю содержательный анализ длительности периода занятости системы и времени передачи данных, выполненный с применением преобразований Лапласа-Стилтьеса.

Сформулированные в диссертации научные положения и выводы являются хорошо обоснованными. Автор демонстрирует влияние различных параметров – таких как интенсивность потока попыток, уровни скорости, модель затухания сигнала – на ключевые показатели эффективности. Практическая ценность работы не ограничивается рамками академических исследований. Разработанные модели и алгоритмы могут быть использованы при проектировании и оптимизации реальных сетей 5G/6G, в задачах радиочастотного планирования, при реализации механизмов

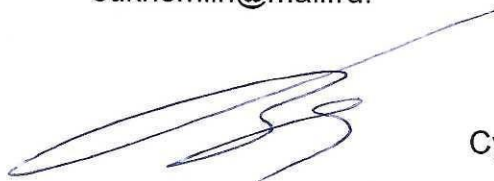
нарезки сетевых ресурсов и совместного использования радиочастот. Кроме того, результаты работы уже нашли применение в учебном процессе, что говорит об их методической ценности.

В качестве замечаний, которые, впрочем, не умаляют общих достоинств работы, можно отметить следующее.

1. Представляется, что работа могла бы выиграть от сравнительного численного анализа с существующими известными аналогами, что позволило бы еще рельефнее обозначить вклад автора.
2. Кроме того, в перспективе интересно было бы рассмотреть применение предложенного подхода к задачам обеспечения кибербезопасности беспроводных сетей, где проблемы управления ресурсами и приоритизации также крайне важны.

Диссертационное исследование Кочетковой Ирины Андреевны является законченной научно-квалификационной работой, соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, согласно п. 2.1 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 протокол № УС-1 от 22.01.2024 г., а ее автор, Кочеткова Ирина Андреевна, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.2.3 – Теоретическая информатика, кибернетика.

Сухомлин Владимир Александрович, доктор технических наук (05.13.11 – Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей), профессор, профессор кафедры информационной безопасности факультета вычислительной математики и кибернетики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», e-mail: sukhomlin@mail.ru.



Сухомлин Владимир Александрович

«29» октября 2025 г.

Подпись Сухомлина В.А. заверяю

«29» октября 2025 г.



Подпись удостоверяю
Специалист по кадрам
Т.Г. Коваленко

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»
Адрес: 119991 Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 52
Тел.: +7 495 939-30-10. Факс: +7 495 939-25-96. E-mail: cmc@cs.msu.ru
Страница в интернете: <https://cs.msu.ru/>

ОТЗЫВ

Орлова Юрия Николаевича
на автореферат диссертации Кочетковой Ирины Андреевны
на тему «Модели для анализа эффективности приоритетного доступа
в беспроводных сетях с эластичным и потоковым трафиком»,
представленную к защите в ПДС 0200.006 на базе
Российского университета дружбы народов имени Патриса Лумумбы
на соискание ученой степени доктора физико-математических наук
по специальности 1.2.3 – Теоретическая информатика, кибернетика

Представленное исследование Кочетковой Ирины Андреевны «Модели для анализа эффективности приоритетного доступа в беспроводных сетях с эластичным и потоковым трафиком» посвящено решению фундаментальных проблем, связанных с управлением ресурсами в беспроводных сетях нового поколения. Эволюция телекоммуникационных технологий, включая переход к сетям 5G и 6G, требует разработки математических моделей, способных учитывать разнородные требования к качеству обслуживания. Работа отвечает этим вызовам, предлагая комплексный подход к анализу приоритетного доступа для эластичного и потокового трафика, что особенно важно в условиях роста нагрузки и разнообразия сервисов.

Диссертация представляет собой целостное научное исследование, отличающееся продуманной структурой и последовательностью изложения материала. Автор начинается с аналитического обзора современных проблем приоритетного обслуживания мультисервисных беспроводных сетей, затем формулирует общую методологическую основу исследования и постепенно переходит к разработке конкретных моделей для различных сценариев. Особого внимания заслуживает предложенная модификация классификации Башарина-Кендалла, которая вводит матричный подход к описанию приоритетов. Это позволяет учесть взаимное влияние различных классов трафика и внешних событий, что значительно расширяет возможности описания сложных сценариев, характерных для современных беспроводных сетей. Автор не забывает о практической интерпретации получаемых результатов, что делает работу доступной не только для специалистов в области теории телетрафика, но и для инженеров-практиков.

Полученные результаты обладают признаками безусловной научной новизны, что проявляется в разработке оригинальных моделей доступа для различных сценариев беспроводных сетей. Предложенные алгоритмы расчета стационарных распределений и показателей эффективности основаны на строгих математических методах теории массового обслуживания и марковских процессов. Достоверность результатов подтверждается их верификацией методами дискретно-событийного моделирования, а также качественным совпадением с известными частными случаями.

Научные положения и выводы работы демонстрируют высокую степень обоснованности. Разработанные модели учитывают такие важные аспекты, как ненадежность ресурсов, возможность прерывания и приостановки сессий, что приближает теоретические построения к реальным условиям эксплуатации сетей.

Теоретическая значимость работы заключается в развитии математического аппарата теории телетрафика и создании методической основы для анализа сетей следующего поколения. Результаты диссертации могут быть использованы при проектировании и оптимизации сетей 5G/6G, а также в образовательном процессе при подготовке специалистов в области телекоммуникаций.

В качестве замечаний, которые, впрочем, не умаляют общих достоинств работы, можно отметить следующее.

1. Требуется анализ устойчивости матричных алгоритмов при большой размерности и исследование обусловленности матриц переходных интенсивностей. Не предложены методы регуляризации для плохо обусловленных систем.
2. Не указано, что в главе 3 диссертации доказывается существование оптимальной стационарной политики.

Диссертационное исследование Кочетковой Ирины Андреевны является законченной научно-квалификационной работой, соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, согласно п. 2.1 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 протокол № УС-1 от 22.01.2024 г., а ее автор, Кочеткова Ирина Андреевна, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.2.3 – Теоретическая информатика, кибернетика.

Орлов Юрий Николаевич, доктор физико-математических наук (01.01.03 – Математическая физика), профессор, главный научный сотрудник, заведующий отделом №6 Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук», e-mail: ov3159f@yandex.ru.

«30» октября 2025 г.

Подпись Орлова Ю.Н. заверяю

Ученый секретарь ИПМ им. М.В. Келдыша РАН А.А. Давыдов

«30» октября 2025 г.

Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук»

Адрес: 125047 Москва, Миусская пл., д. 4

Тел.: +7 (499) 978-13-14. Факс: +7 (499) 972-07-37. E-mail: office@keldysh.ru

Страница в интернете: <https://keldysh.ru/>

ОТЗЫВ

Крука Евгения Аврамовича

на автореферат диссертации Кочетковой Ирины Андреевны
на тему «Модели для анализа эффективности приоритетного доступа
в беспроводных сетях с эластичным и потоковым трафиком»,
представленную к защите в ПДС 0200.006 на базе
Российского университета дружбы народов имени Патриса Лумумбы
на соискание ученой степени доктора физико-математических наук
по специальности 1.2.3 – Теоретическая информатика, кибернетика

Рассматриваемая диссертационная работа Кочетковой Ирины Андреевны «Модели для анализа эффективности приоритетного доступа в беспроводных сетях с эластичным и потоковым трафиком» посвящена исключительно актуальной проблеме математического моделирования приоритетного доступа в беспроводных сетях нового поколения. Стремительное развитие технологий 5G и перспективы внедрения 6G сетей обуславливают острую необходимость в создании адекватных математических моделей, позволяющих анализировать механизмы управления разнородным трафиком.

Содержательная часть диссертации демонстрирует системный подход к построению комплекса марковских моделей, что свидетельствует о глубоком понимании автором современных проблем математического моделирования телекоммуникационных систем. Особого внимания заслуживает разработанный матричный формализм описания схем приоритетного доступа. Многообразие рассмотренных сценариев – от сверхнадежной передачи с малой задержкой до совместного использования радиочастот – подчеркивает комплексный характер исследования. Автору удалось органично объединить теоретические аспекты построения моделей с практическими задачами выбора параметров беспроводных сетей нового поколения, что демонстрирует зрелость научного подхода и понимание актуальных потребностей телекоммуникационной отрасли.

Научная новизна работы обоснована и подтверждается разработкой оригинальных моделей приоритетного доступа, учитывающих современные особенности беспроводных сетей. Достоверность полученных результатов обеспечивается строгим применением методов теории марковских процессов, теории массового обслуживания. Разработанные алгоритмы расчета стационарных распределений и показателей эффективности демонстрируют математическую строгость и вычислительную реализуемость.

Ценность проведенного исследования для науки заключается в существенном развитии математического аппарата теории телетрафика и создании методологии анализа сложных систем приоритетного доступа. Для практики в области телекоммуникаций важность работы определяется возможностью применения разработанных моделей и алгоритмов при проектировании и оптимизации сетей 5G/6G. Образовательная составляющая работы подтверждается успешным внедрением результатов в учебный процесс университета.

Вместе с тем, хотелось бы обратить внимание автора на некоторые аспекты, которые могли бы усилить работу:

1. Рассматривалась ли возможность применения методов теории кодирования для повышения надежности передачи критически важных данных в разработанных моделях?
2. В работе недостаточно освещены вопросы энергетической эффективности предложенных схем приоритетного доступа.

Несмотря на отмеченные замечания, представленная диссертационная работа безусловно представляет собой завершённое научное исследование, вносящее существенный вклад в решение актуальной научной проблемы. Полученные результаты имеют важное народнохозяйственное значение и соответствуют всем критериям, предъявляемым к докторским диссертациям. Автор демонстрирует высокую квалификацию и зрелость как ученый-исследователь.

Диссертационное исследование Кочетковой Ирины Андреевны является законченной научно-квалификационной работой, соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, согласно п. 2.1 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 протокол № УС-1 от 22.01.2024 г., а ее автор, Кочеткова Ирина Андреевна, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.2.3 – Теоретическая информатика, кибернетика.

Крук Евгений Аврамович, доктор технических наук (05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям)), профессор, научный руководитель НИИ Телекоммуникаций Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», e-mail: ekrouk@hse.ru.



Крук Евгений Аврамович

« 29 » октября 2025 г.

Подпись Крука Е.А. заверяю



« 31.10.2025 » 2025 г.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»

Адрес: 101000 Москва, ул. Мясницкая, д. 20

Тел.: +7 495 771-32-32, +7 495 531-00-31. E-mail: hse@hse.ru

Страница в интернете: <https://www.hse.ru/>