

"УТВЕРЖДАЮ"

И. о. первого проректора — проректора по научной работе РУДН
В. А. Ромащенко



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 «Построение и анализ модели для расчета вероятностно-временных характеристик сети интегрированного доступа и транзита с разделением ресурсов» выполнена на кафедре теории вероятностей и кибербезопасности факультета физико-математических и естественных наук.

Платонова Анна Алексеевна 18.03.1996 года рождения, гражданка России, в 2019 году окончила (с отличием) федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов» по направлению «02.04.02 Фундаментальная информатика и информационные технологии»

С 22.09.2019 по 21.09.2023 обучалась 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.

Документ о сдаче кандидатских экзаменов выдан в 2023 году в РУДН.

В период подготовки диссертации являлась ассистентом кафедры теории вероятностей и кибербезопасности факультета физико-математических и естественных наук РУДН.

С 14.10.2024 года по настоящее время работает ассистентом кафедры теории вероятностей и кибербезопасности факультета физико-математических и естественных наук РУДН.

Научный руководитель – Гайдамака Юлия Васильевна, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры теории вероятностей и кибербезопасности РУДН.

Тема диссертационного исследования и научный руководитель были утверждены на заседании Ученого совета факультета физико-математических и естественных наук РУДН, 17.03.2026, протокол № 0200-УСП-9.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Оценка выполненной соискателем работы. Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится новое решение научной задачи разработки математических моделей и методов анализа вероятностно-временных характеристик сетей интегрированного доступа и транзита с разделением ресурсов, учитывающих динамическое выделение ресурсов, полудуплексный режим передачи и метрики возраста информации, на основе теории массового обслуживания и теории оптимизации. Полученные результаты имеют существенное значение для эффективного управления сетевыми ресурсами, обеспечения качества обслуживания (QoS), минимизации сквозной задержки и повышения актуальности передаваемой информации в современных и перспективных беспроводных сетях 5G/6G.

Личное участие соискателя в получении результатов. Все результаты, изложенные в диссертации, получены соискателем лично или при его непосредственном и определяющем участии:

1. По первому результату – системная и математическая модель нарезки ресурсов в сетях радиодоступа 5G – соискателем лично разработана методика разделения ресурсов между слайсами, учитывающая динамическое выделение ресурсов, максиминную справедливость и ограничения QoS; соискателем лично сформулированы и доказаны теоремы, определяющие распределение емкости слайсов в различных сценариях приоритизации; самостоятельно разработан и реализован численный алгоритм решения оптимизационной задачи распределения ресурсов.

2. По второму результату – вероятностная модель нарезки ресурсов в сетях 5G на основе теории массового обслуживания – соискателем лично построена математическая модель слайса услуги «Best Effort» в виде СМО с дисциплиной Processor Sharing; самостоятельно выведены аналитические выражения для ключевых показателей эффективности, включая вероятность деградации обслуживания, коэффициент использования ресурса и среднюю скорость обслуживания; соискателем лично проведен численный анализ влияния различных стратегий перенарезки ресурсов на эти показатели.

3. По третьему результату – комплексная математическая модель многошаговой беспроводной сети IAB – соискателем лично построена модель сети IAB в виде открытой экспоненциальной сети массового обслуживания,

учитывающая полудуплексный режим, TDM и древовидную топологию; самостоятельно получены аналитические выражения для функции распределения сквозной задержки пакетов и пикового возраста информации; соискателем лично сформулирована и решена задача оптимизации распределения долей активации каналов для совместной минимизации средней сквозной задержки и среднего пикового возраста информации.

Степень достоверности результатов проведенных исследований. Достоверность полученных Платоновой А.А. результатов подтверждается корректным использованием апробированных методов теории массового обслуживания, стохастического моделирования, теории оптимизации и математического анализа при выводе аналитических соотношений и доказательстве утверждений; обоснованностью принятых допущений, базирующихся на анализе и обобщении передового опыта в области нарезки сети и интегрированного доступа и транзита в сетях 5G/6G; совпадением частных случаев разработанных моделей с известными результатами теории массового обслуживания; а также верификацией аналитических моделей с помощью дискретно-событийного имитационного моделирования в среде OMNeT++.

Новизна результатов проведенных исследований состоит в следующем:

1. Системная и математическая модель нарезки ресурсов в сетях радиодоступа 5G комплексно учитывает динамическое выделение ресурсов, принцип максиминной справедливости и ограничения QoS, что позволяет формализовать и исследовать процессы управления ресурсами в условиях изменяющейся пользовательской нагрузки. Ранее существующие модели нарезки сети преимущественно фокусировались на статических сценариях или отдельных аспектах распределения ресурсов, не предоставляя комплексного подхода к динамическому управлению с учетом максиминной справедливости и гарантированных QoS в условиях переменной нагрузки.

2. Вероятностная модель на основе теории массового обслуживания для анализа показателей эффективности нарезки ресурсов в сетях 5G впервые исследует влияние различных стратегий перенарезки ресурсов на эти показатели, что позволило выявить оптимальный баланс между производительностью и вычислительной сложностью. Ранее исследования, как правило, фокусировались на отдельных аспектах управления ресурсами или анализировали метрики эффективности без комплексного учета и сравнения динамических стратегий перенарезки и их вычислительных затрат.

3. Комплексная математическая модель многошаговой беспроводной сети IAB учитывает полудуплексный режим передачи, временное мультиплексирование (TDM) и топологию сети, позволяя получить аналитические выражения для сквозной задержки пакетов и метрики AoI на уровне MAC. Ранее существующие модели IAB-сетей преимущественно фокусировались на пропускной способности и надежности, не предоставляя комплексного анализа сквозной задержки и возраста информации в условиях полудуплексных ограничений и TDM, а также не предлагали методов оптимизации долей активации каналов для совместной минимизации этих критически важных показателей.

Практическая значимость проведенных исследований.

Практическая значимость работы заключается в том, что разработанные модели, формулы и алгоритмы могут быть использованы операторами мобильной связи, а также разработчиками систем управления радиоресурсами (RRM) и менеджеров нарезки (SliM) при проектировании, планировании и оптимизации сетей 5G/6G. Предложенные стратегии перенарезки ресурсов и методы оптимизации долей активности каналов в IAB сетях позволяют эффективно управлять сетевыми ресурсами, гарантировать требуемое качество обслуживания (QoS) для разнообразных услуг, минимизировать сквозные задержки и обеспечивать необходимую актуальность информации (AoI) для критически важных приложений. Это способствует повышению производительности сети, снижению вычислительной сложности управления и может быть непосредственно применено при разработке систем управления радиоресурсами (RRM) и менеджеров нарезки (SliM) в реальных сетях.

Ценность научных работ соискателя. Соискатель являлся руководителем проекта-победителя в конкурсе на выполнение НИР/НИОКР аспирантами РУДН естественно-научных (R.4-N-2022) направлений Системы грантовой поддержки научных проектов РУДН в 2022 году (тема: «Разработка моделей и интеллектуальных алгоритмов оптимального управления диспетчеризацией трафика в сетях 5G/6G для услуг совмещенного доступа и транспорта»), а также исполнителем грантов РФФИ № 22-79-10053 «Разработка моделей и алгоритмов обслуживания критичного к задержке и надежности доставки трафика в сценариях промышленной автоматизации на основе беспроводных систем 5G» (2022-2025), № 24-19-00804 «Исследование возраста информации в задачах обеспечения качества предоставления услуг URLLC и mMTC в беспроводных сетях 5G» (2024-2027), № 23-79-10084 «Математические модели и практические алгоритмы повышения

энергоэффективности в гетерогенных миллиметровых и терагерцевых сетях пятого и шестого поколения (5G/6G)» (2023).

Соответствие пунктам паспорта научной специальности 1.2.3 «Теоретическая информатика, кибернетика»:

– п. 9 Математическая теория исследования операций (физико-математические науки), а именно формализация исследуемой системы как объекта исследования операций в части описания сети IAB в виде совокупности взаимодействующих элементов (абонентские устройства, базовые станции, радиоканалы) и в части описания протекающих в сети IAB процессов передачи пакетов с учетом ограничений полудуплексного и дуплексного режимов активации радиоканалов доступа и транзита (раздел 3.2), в части описания процедуры нарезки ресурса сети радиодоступа в виде алгоритма с входными параметрами, определяющими объем ресурса системы, ограничения на объемы ресурса слайсов, приоритизацию слайсов, и критерий справедливости при распределении ресурса. Методика разделения ресурсов между слайсами основана на решении задачи оптимизации, учитывающей динамическое выделение ресурсов и максиминную справедливость (раздел 1.2). Сравнительный анализ альтернатив, как ключевой элемент исследования операций, реализован при выборе метода вызова процедуры нарезки ресурса (раздел 2.2). Алгоритм расчета долей времени активности радиоканалов предназначен для совместной минимизации средней сквозной задержки и среднего пикового возраста информации на всех маршрутах от IAB-донора до абонентских устройств (раздел 3.3). Критериями при анализе выступают показатели эффективности, которые определены в разделе 2.1.

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем. Научные результаты диссертации изложены в 19 публикациях, в том числе в 7 изданиях, входящих в базу данных Scopus, в 2 изданиях, рекомендованном ВАК РФ, в 5 свидетельствах о государственной регистрации программ для ЭВМ. Основные положения и результаты работы Платоновой А.А. отражены в следующих публикациях:

1. Gaidamaka E.A., **Platonova A.A.**, Parashchenko A.D., Zhivtsova A.A., Gaidamaka Yu.V. End-to-end Delay Analysis for an Integrated Access and Backhaul Network // Lecture Notes in Computer Science. – 2026. – В печати. – 12 с.
2. Самуйлов А.К., **Платонова А.А.**, Шоргин В.С., Гайдамака Ю.В. On modeling the effects of multicast traffic servicing in 5G NR networks [К моделированию эффектов обслуживания многоадресного трафика в

- сетях 5G NR] // Информатика и ее применения. – 2023. – Т. 17. – № 2. – С. 71-77.
3. Polyakov N., **Platonova A.** Characterizing the Effects of Base Station Variable Capacity on 5G Network Slicing Performance // Communications in Computer and Information Science. – 2023. – Т. 1748. – С. 135-146.
 4. Polyakov N., **Platonova A.** Assessing latency of packet delivery in the 5G 3GPP integrated access and backhaul architecture with half-duplex constraints // Future Internet. – 2022. – Т. 14. – № 11. – С. 345.
 5. Khayrov E. M., Prosvirov V. A., **Platonova A.A.** Traffic Arrival Model for Millimeter Wave 5G NR Systems // Lecture Notes in Computer Science. – 2022. – Т. 13766. – С. 161-175.
 6. Бобрикова Е.В., **Платонова А.А.**, Гайдамака Ю.В., Шоргин С.Я. Пример применения аппарата нейронных сетей при назначении модуляционно-кодовой схемы планировщиком базовой станции сети 5G // Системы и средства информатики. – 2021. – Т. 31. – № 3. – С. 135-143.
 7. Гайдамака Е.А., Николаев Д.И., **Платонова А.А.**, Самуйлов К.Е. Расчет задержки и пикового возраста информации пакетов в сети DECT с запланированным доступом // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025669968 РФ. – Оpubл. 01.08.2025.
 8. Паращенко А.Д., **Платонова А.А.**, Гайдамака Ю.В. Расчёт характеристик задержки в многошаговой сети // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025680621 РФ. – Оpubл. 07.08.2025.
 9. Гайдамака Е.А., Николаев Д.И., **Платонова А.А.**, Самуйлов К.Е. Расчет задержки и пикового возраста информации пакетов на листовом узле сети IAB // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025680762 РФ. – Оpubл. 08.08.2025.
 10. Паращенко А.Д., **Платонова А.А.**, Гайдамака Ю.В. Анализ квантиля сквозной задержки и пикового возраста информации в сети интегрированного доступа и транзита // Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологичных систем : материалы Всероссийской конференции с международным участием, Москва, 2025. – С. 57-62.
 11. Гайдамака Е.А., **Платонова А.А.**, Ким Р., Гайдамака Ю.В. К анализу возраста информации в одноуровневой сети с многоадресной доставкой информации // Новые информационные технологии в исследовании сложных структур : материалы Пятнадцатой международной конференции, Томск, 2024. – С. 70-72.

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 Платоновой Анны Алексеевны рекомендуется к публичной защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических и естественных 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 30 чел.

Результаты голосования: «за» – 30 чел., «против» – 0 чел., «воздержалось» – 0 чел.

07.04.2026., протокол № 0200-54/01-БУП-11.

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

К.Е. Самуйлов

Подпись К.Е. Самуйлова удостоверяю.
Ученый секретарь Ученого совета
факультета физико-математических
и естественных наук РУДН



И.С. Зарядов