

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Маслова Александра Руслановича «Метод анализа ресурсной модели с сигналами и его применение к расчету показателей эффективности высокочастотной мобильной сети», представленную к защите в ПДС 0200.006 при федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.3. Теоретическая информатика, кибернетика

Актуальность темы диссертационной работы

Развитие сотовых систем 5G и 6G влечет к сложным техническим задачам, решения которых должны обеспечивать их эффективную работу. Функционируя при ограниченности частотных и временных ресурсов, современные системы должны работать как в условиях учета и предсказания местоположения пользователей, так и при непрерывном изменении качества работы радиоканала. Эти особенности указывают на случайный характер процессов формирования, обработки и передачи данных, что приводит к необходимости разработки и применению стохастических моделей для анализа функционирования систем и сетей связи нового поколения.

Ресурсные системы массового обслуживания хорошо зарекомендовали себя для анализа таких моделей. Объем необходимых ресурсов в таких системах представляется в виде случайной величины, что позволяет моделировать множество различных факторов, без которых анализ современных сетей связи был бы далек от реальности. Дополняя эти системы так называемыми «сигналами», удаётся также принимать во внимание и блокировки путей распространения сигнала, что крайне актуально в условиях современных мегаполисов. Интенсивное развитие сотовых систем, использующих миллиметровые и терагерцовые диапазоны частот, порождает потребность создания решений, которые смогли бы частично облегчить вычислительную нагрузку, необходимую для анализа современных сетей связи.

Данная диссертация посвящена разработке метода анализа ресурсных моделей с сигналами и повторными вызовами и их применению к вычислению различных вероятностных показателей мобильных сетей.

Ввиду вышеизложенного, можно заключить, что тема диссертационной работы Маслова Александра Руслановича «Метод анализа ресурсной модели с сигналами и его применение к расчету показателей эффективности высокочастотной

мобильной сети» является актуальной и соответствует специальности 1.2.3. Теоретическая информатика, кибернетика».

Характеристика содержания диссертационной работы

Диссертационная работа состоит из введения, трёх глав, заключения, списков основных сокращений и обозначений, списка литературы из 77 источников.

Во введении показана актуальность диссертационной работы, формулируется цель исследования, научная новизна, положения, выносимые на защиту соискателем, и краткое описание основного текста диссертации.

Первая глава посвящена нахождению вероятностных характеристик модели базовой станции мобильной сети в виде ресурсной системы с сигналами и ресурсной системы без сигналов, но с повторными вызовами. Моделирование последней осуществляется при помощи орбиты конечного объема. Орбита организована для заявок, которым было отказано в обслуживании, чтобы они смогли спустя некоторое время ожидания вновь встать на прибор и начать обслуживание. В отличие от классических систем с ожиданием, времена пребывания заявок на орбите распределены независимо друг от друга. На вход систем поступает простейший поток заявок, времена обслуживания заявок и время пребывания заявок на орбите в системе с повторными вызовами подчиняются экспоненциальному распределению. Для многомерных процессов, описывающих поведение предложенных двух моделей, представлены матрицы интенсивностей переходов в блочной форме и численно получены стационарные вероятности их значений, на основе которых рассчитаны основные вероятностные характеристики.

Во **второй главе** представлен метод приближённого анализа ресурсной модели с сигналами. На вход системы поступает простейший поток заявок, а для каждой заявки на обслуживании имеется входящий поток сигналов. Времена обслуживания заявок и поступления сигналов распределены по экспоненциальному закону. Предполагается, что в случае недостатка ресурсов при поступлении сигнала, обслуживание заявки прерывается, а освободившиеся ресурсы возвращаются в систему. Для данной модели предложен итерационный алгоритм расчёта вероятностных характеристик, благодаря которому не нужно находить численное решение системы уравнений равновесия. Предложен численный анализ точности метода приближенного расчета.

Третья глава посвящена анализу математической модели высокочастотной мобильной сети, представленной в виде ресурсной системы массового обслуживания с сигналами и повторными вызовами. В такой системе в случае поступления сигнала при дефиците ресурсов заявка может уйти на орбиту, претерпевая деградацию качества обслуживания. Для данной модели выполнен численный расчёт стационарных вероятностей состояний системы.

В заключении изложены ключевые результаты проведённого исследования.

Достоверность и новизна результатов диссертации

Достоверность основных положений и результатов диссертационного исследования подтверждается использованием математического аппарата, включающего матричный анализ, методы теории вероятностей и теории массового обслуживания, марковских случайных процессов, а также экспериментами и численным анализом.

Научная новизна диссертации заключается в разработке математических моделей мобильных сетей в виде ресурсных систем с сигналами и повторными вызовами, функционирующих в условии прерывания обслуживания или блокировки доступа, разработке итерационного алгоритма и применении метода приближённого расчета вероятностных характеристик предложенных систем. Метод опирается на полученные аналитически стационарные вероятности цепи Маркова, вложенной по моментам окончания обслуживания заявок в исследуемых системах.

Таким образом, результаты диссертации обладают достаточной степенью достоверности и содержат научную новизну, что вносит весомый вклад в развитие теории и практики беспроводных сетей пятого поколения и последующих поколений.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, представленных в диссертации, подтверждается строгими математическими доказательствами, подкреплённые результатами численных экспериментов.

Полученные в работе результаты апробированы на всероссийских и международных конференциях, что также свидетельствует о достоверности и обоснованности изложенных выводов.

Ценность для науки и практики результатов работы

Диссертация предлагает новые методы анализа ресурсных моделей с сигналами и повторными вызовами, чем вносит вклад в развитие теории массового обслуживания и теории беспроводных сетей связи. Разработанные модели высокочастотных мобильных сетей и методы их анализа обогащают существующие научные знания.

Работа предлагает решения для проблем, связанных с расчётом показателей эффективности работы высокочастотных мобильных сетей, что актуально в условиях стремительного развития беспроводных сетей связи.

Таким образом, результаты работы представляют собой ценный вклад как в научную базу знаний о высокочастотных мобильных сетях, так и в практическую сферу их эксплуатации в современных реалиях.

Подтверждение опубликования основных результатов диссертации в научной печати

По теме диссертационного исследования было опубликовано 4 научных работы в изданиях, индексируемых международными базами данных Web of Science/Scopus, и 2 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ. Результаты исследования были представлены на всероссийских и международных конференциях и семинарах, а также использованы в совместных исследовательских мероприятиях в рамках сотрудничества РУДН, в исследованиях по грантам РНФ, в системе грантовой поддержки научных проектов РУДН.

Соответствие содержания автореферата основным положениям диссертации

Содержание автореферата соответствует основным положениям диссертации. Ключевые аспекты, рассматриваемые в диссертации, подробно освещены в автореферате, что позволяет читателю получить полное представление о проведенных исследованиях и их значимости.

Замечания по диссертационной работе

Диссертационная работа в целом выполнена на высоком уровне, но есть несколько замечаний и вопросов, которые следует учесть:

1. В Главе 1 из описания ресурсной системы с повторными вызовами остается не ясным, что происходит с заблокированной заявкой?
2. Как сигнал, поступающий с интенсивностью γ , влияет на функционирование приборов, которые заняты обслуживанием заявок? При поступлении сигнала все приборы, занятые обслуживанием, одновременно освобождают занятый ресурс или для каждого прибора существует свой поток сигналов с интенсивностью γ ?
3. Не смотря на наличие ссылки на работу [65], было бы полезным привести доказательство в диссертации одной из основных формул (1.4).
4. В условии Теоремы 2.1, в доказательстве Утверждения 2.1 используется параметр ρ , который не определяется. Очевидно, что в этих утверждениях он равен λ/μ , но позже в формуле (2.64) ρ принимает другое значение.
5. Теоремы 2.1 доказана для случая дискретного распределения требований к ресурсу. При этом очевидно, что этот результат может быть обобщён на случай произвольного распределения требований к ресурсу.
6. Метод приближенного расчета вероятностей потери и прерывания из Главы 2 основывается на предположении, что дополнительный поток возвращающихся заявок является пуассоновским с постоянной интенсивностью. Почему он является пуассоновским потоком?
7. В разделе 3.3 представлено всего 3 графика с полученными результатами расчетов различных вероятностей. Хотелось бы видеть более подробные результаты численного анализа исследуемой модели.

Указанные замечания не снижают уровня научной новизны, теоретической и практической значимости, а также общую положительную оценку выполненной диссертационной работы.

Заключение

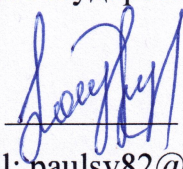
Диссертационная работа Маслова Александра Руслановича на тему «Метод анализа ресурсной модели с сигналами и его применение к расчету показателей эффективности высокочастотной мобильной сети» представляет из себя завершенное исследование, содержащее новое решение научной задачи по вычислению вероятностных характеристик математических моделей высокочастотных мобильных сетей в виде ресурсных систем с сигналами и повторными вызовами. Данный результат вносит существенный исследовательский

вклад в математическую теорию телетрафика. Работа отличается новизной подходов решения поставленной задачи, что подчеркивает её важность для дальнейшего развития теоретической базы и практических применений в сфере телекоммуникаций.

Работа соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, согласно 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 её автор, Маслов Александр Русланович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.3. Теоретическая информатика, кибернетика.

Официальный оппонент, Пауль Светлана Владимировна, доктор физико-математических наук (1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ), доцент, профессор кафедры теории вероятностей и математической статистики федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет».

«03» октября 2025 г.



Пауль Светлана Владимировна

тел. +7 913-828-12-14; email: paulsv82@mail.ru

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет».

Адрес: 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 36.

Тел.: +7 (3822) 529-585

E-mail: rector@tsu.ru

Страница в интернете: <http://www.tsu.ru>

Подпись Пауль С. В. заверяю

«03» октября 2025 г.



Е.В. Луков

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ УС ТГУ