

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

на диссертационную работу Макеевой Елены Дмитриевны «Анализ приоритетной системы обслуживания трафика с зависимым занятием радиоресурсов», представленную к защите в ПДС 0200.006 на базе Российского университета 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 компьютерных, беспроводных, мобильных сетей связи порождает потребность создания новых технических решений, позволяющих обеспечить оптимальное использование и управление данными ресурсами. В условиях постоянного роста требований к эффективности устройств, применяемых в системах обработки и передачи информации, к сокращению сроков исследования и разработки новых телекоммуникационных сетей и систем актуально их исследование с помощью построения математических моделей. Современные сети должны поддерживать множество различных сценариев использования, таких как улучшенная мобильная широкополосная связь, сверхнадёжные коммуникации с низкой задержкой. Каждый из этих сценариев имеет свои требования к ресурсам, поэтому важно разработать гибкую систему распределения ресурсов, которая сможет адаптироваться под разные типы трафика. Поэтому направление исследований, связанное с разработкой математических моделей и анализом ресурсных систем обслуживания, в том числе с приоритетами заявок, является актуальным и представляется интересным и перспективным как в теоретическом, так и в прикладном отношении.

Учитывая вышеизложенное, считаю, что тема диссертационной работы Макеевой Елены Дмитриевны «Анализ приоритетной системы обслуживания трафика с зависимым занятием радиоресурсов» является актуальной и соответствует специальности 1.2.3 «Теоретическая информатика, кибернетика».

### **Характеристика содержания диссертационной работы**

Диссертационная работа Макеевой Е.Д. включает в себя введение, три главы, заключение, список основных обозначений и список литературы из 101 наименования.

Во введении обоснована актуальность избранной темы, сформулирована цель исследований, перечислены задачи, которые необходимо решить для ее достижения, обоснована научная новизна полученных результатов.

В первой главе описаны технические особенности сетей 5G и последующих поколений, включая модель затухания сигнала и подходы к организации совместной передачи широкополосной связи и сверхнадежной связи. Представлена схема приоритетной передачи, позволяющая задерживать и прерывать сессии широкополосного трафика, а затем возобновлять их через определенное время, с использованием RQ-системы с двумя орбитами. Приведен матричный алгоритм расчета стационарных вероятностей и численное решение задачи выбора параметров возобновления передачи.

Во второй главе представлена схема приоритетной передачи с возможностью прерывания и последующего блокирования обслуживания широкополосного трафика в рамках ресурсной системы массового обслуживания. Ресурс рассматривается в двух аспектах: длительность кадра и мощность сигнала. Описана модель мощности затухания сигнала по стандарту 3GPP и представлены формулы для расчета функции распределения мощности затухания при случайном расстоянии между пользователем и базовой станцией. Предложен алгоритм снижения размерности системы уравнений равновесия и матричный алгоритм расчета стационарного распределения для данной модели.

В третьей главе разработана и проанализирована схема приоритетной передачи с адаптивным снижением скорости широкополосной связи в виде ресурсной системы массового обслуживания. В данной модели ресурс также определяется длительностью кадра и мощностью сигнала. Однако, в отличие от модели из второй главы, длительность кадра распределяется между сессиями на основе весовых коэффициентов, соответствующих скоростям передачи широкополосной связи. Проведён численный анализ показателей эффективности модели и представлено численное решение задачи выбора уровней скорости передачи широкополосного трафика.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы.

**Достоверность и новизна результатов диссертации**

Достоверность основных положений, выводов и рекомендаций подтверждается строгим использованием математического аппарата, включающего методы теории вероятностей, марковских случайных процессов, теории массового обслуживания, матричного анализа, а также экспериментами и численным анализом.

В диссертационном исследовании разработаны новые схемы передачи: учитывающие время на попытки возобновления обслуживания широкополосного трафика в виде системы с двумя орбитами, что позволяет определить оптимальную частоту попыток для повышения эффективности использования сети, а также схемы с прерыванием обслуживания и адаптивным изменением скорости передачи данных в виде ресурсных систем массового обслуживания. В отличие от представления ресурса в ресурсных системах в виде отношения мощности сигнала к шуму и помехам, в рассматриваемых моделях ресурс представлен двумя типами: длительностью кадра и мощностью сигнала.

Таким образом, результаты диссертации обладают высокой степенью достоверности и содержат значительную научную новизну, что делает их ценным вкладом в развитие теории и практики беспроводных сетей пятого поколения и последующих поколений.

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

Степень обоснованности подтверждается математически корректными выводами, представленными в работе, согласованностью результатов, полученных для разных моделей между собой и с известными в теории массового обслуживания результатами, а также многочисленными экспериментами и численным анализом.

Представленные в диссертационной работе результаты достаточно полно апробированы на всероссийских и международных конференциях, что также свидетельствует о достоверности и обоснованности изложенных в диссертации результатов.

### **Ценность для науки и практики результатов работы**

Значимость теоретических результатов работы заключается в создании математического аппарата для исследования процессов, происходящих в беспроводных сетях при совместной передаче разнотипного трафика и учитывающих различные аспекты распределения ресурсов. Ряд полученных

результатов может быть использован в учебном процессе при чтении курсов теоретического и прикладного характера, в том числе по теории массового обслуживания в классических университетах и по теории телетрафика в профильных университетах

Предложенные в работе алгоритмы имеют значительную ценность как для научного сообщества, так и для практиков, занимающихся проектированием и эксплуатацией современных беспроводных сетей. Предложенные модели и алгоритмы для оптимизации работы сетей позволят повысить эффективность использования ресурсов, улучшить качество обслуживания пользователей и увеличить пропускную способность сетей.

### **Подтверждение опубликования основных результатов диссертации в научной печати**

Основные результаты диссертационной работы отражены в 11 научных трудах, из них 1 в издании TOP-10, 3 статьи в журналах, входящих в международные базы цитирования Web of Science/Scopus, 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. Результаты также докладывались на всероссийских и международных конференциях и семинарах и отражены в отчетах по грантам РФФИ и научному проекту РУДН.

### **Соответствие содержания автореферата основным положениям диссертации**

Автореферат логически выстроен, хорошо структурирован, правильно и в достаточной мере отражает содержание диссертационной работы. Как часть выполненной научной работы автореферат отражает компетентность автора в области проводимых исследований и хорошее владение используемыми математическими методами.

### **Замечания по диссертационной работе**

Диссертация выполнена качественно с точки зрения оформления и логичной структуры. Тем не менее, содержание работы вызывает следующие замечания:

1. В диссертации представлены модели приоритетных систем массового обслуживания с повторными вызовами, однако не упомянуты известные в этих областях работы А. Н. Дудина, А.А. Назарова.

2. Во всех моделях диссертационной работы автор использует пуассоновские потоки, никак не комментируя их выбор.

3. В диссертации предложена схема совместной приоритетной передачи с возможностью прерывания и последующего возобновления обслуживания. В рамках данной модели рассматривается задача выбора параметров возобновления и начала обслуживания. Однако в работе отсутствует строгая формулировка соответствующей задачи оптимизации.

4. В работе ресурс в системах массового обслуживания представлен в виде двух компонентов: длительности кадра и мощности сигнала. Ресурс часто описывается через показатель отношения сигнал-шум (SNR). Следовало бы обосновать выбор именно такого представления ресурса, а также конкретных политик его разделения, рассмотренных в главах 2 и 3. Кроме того, следовало бы дополнить работу показателями эффективности, связанными с ресурсом, такими как средняя мощность сигнала.

5. В параграфе 1.6 повторяются цель и задачи, а также структура диссертации, которую логично было бы представить во вводной части.

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

### **Заключение**

Диссертационное исследование Макеевой Елены Дмитриевны на тему «Анализ приоритетной системы обслуживания трафика с зависимым занятием радиоресурсов» является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится новое решение научной задачи разработки схем для совместной передачи разнотипного трафика в беспроводных сетях. Эти результаты имеют существенное значение для проектирования и оптимизации систем управления сетями, способствуя повышению их устойчивости и эффективности.

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,

Макеева Елена Дмитриевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.3 «Теоретическая информатика, кибернетика».

**Официальный оппонент**, Моисеева Светлана Петровна, доктор физико-математических наук (05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ), профессор, заведующий кафедрой теории вероятностей и математической статистики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет»,

« 25 » февраля 2025 г.



Моисеева Светлана Петровна

тел.: +7 913 815-32-62, e-mail: [smoiseeva@mail.ru](mailto:smoiseeva@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](mailto:rector@tsu.ru)

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

Подпись Моисеевой С.П. заверяю

Ученый секретарь Ученого совета ТГУ

« 25 » февраля 2025 г.



/ Н .А. Сазонтова