

### **Отзыв официального оппонента**

на диссертацию Канищевой Маргариты Геннадьевны на тему: «Разработка модели и процедур эффективного распределения ресурса мультисервисных узлов доступа при обслуживании гетерогенного трафика современных коммуникационных приложений» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

### **Актуальность темы диссертационного исследования**

Одной из основных тенденций развития сетей связи является рост числа устройств Интернета вещей (internet of things, IoT). Эти устройства генерируют огромные объемы данных, требующих пересылки и обработки. Эффективное распределение ресурсов становится критичным для поддержания качества обслуживания и предотвращения перегрузок сетей. Устройства IoT варьируются от простых сенсоров до видеокамер и медицинских приборов. Все они имеют свои специфические требования к скорости передачи данных, задержкам, надежности, к качеству обслуживания и т.д. Это вносит особенности в формирование информационных потоков. К этим особенностям, в первую очередь, следует отнести наличие свойства неоднородности (гетерогенности) в поступающих потоках мультисервисного трафика, а также эластичные свойства у пересылаемых данных и возможность их задержки в процессе обслуживания. Данные, как правило, имеют приоритет в занятии ресурса передачи информации перед трафиком сервисов реального времени.

Гетерогенный трафик требует гибкого и адаптивного подхода к распределению сетевых ресурсов. Ресурсы беспроводных сетей, такие как полоса пропускания и мощность передатчиков, ограничены. Это особенно важно учитывать в условиях плотной застройки и большого числа подключенных устройств. Повышение эффективности использования ресурсов узла доступа необходимо для обеспечения стабильной и качественной работы сети. Неправильное распределение ресурсов может привести к снижению качества обслуживания и, как следствие, к возможным сбоям в работе критически важных систем. Чтобы избежать отрицательных последствий обозначенных проблем необходимо провести анализ влияния перечисленных особенностей

формирования информационных потоков на качество их обслуживания. Для решения этой задачи необходимо построить математическую модель узла доступа, определить с ее помощью показатели совместного обслуживания мультисервисного трафика и провести исследование сценариев эффективного распределения ресурса передачи узла доступа. Решению этой важной с теоретической и практической точек зрения задачи и посвящена диссертация Канищевой М.Г., что говорит об актуальности выполненного исследования.

### **Краткая характеристика работы**

Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка литературы и приложения. Во введении раскрывается актуальность избранной тематики, производится оценка уровня ее проработанности, формулируются цель и задачи исследования, подчеркиваются научная новизна, теоретическая и практическая значимость. Приведены методики, используемые в анализе, сформулированы защищаемые положения, дана оценка достоверности достигнутых результатов и степени их внедрения.

Первый раздел посвящен исследованию важнейших характеристик архитектуры сетей стандарта LTE (long-term evolution) и последующих поколений, а также выявлению воздействия этих параметров на качество передачи различных видов трафика. Определены приоритетные области исследований, включая совместную обработку голосовых и информационных данных, особенности оказания услуг реального времени, динамику формирования нагрузок и возможности временного хранения информации.

Второй раздел описывает механизм совместной обработки разнообразного трафика в инфраструктуре сетей LTE. Рассмотрены случаи, когда ресурсы узлов распределяются частично или полностью между операторами систем видеонаблюдения.

Третий раздел посвящен представлению точных и приближенных методов оценки характеристик процессов совместного обслуживания заявок. Точные расчеты проводятся решением системы уравнений равновесия, в то время как приближенные подходы предполагают разделение сложной модели на ряд простых компонентов, чьи характеристики вычисляются с применением рекурсивных алгоритмов.

Четвертый раздел рассматривает проблему определения пропускной способности многоуровневого узла доступа в ситуации неравномерной нагрузки. Исследуется влияние структуры входящего потока на показатели пропускной способности.

В заключении обобщены главные результаты проведенного исследования и сделаны соответствующие выводы. В приложениях представлены доказательства успешного внедрения научных разработок в реальную практику.

### **Научная новизна**

1. Разрабатывается и детально анализируется универсальная модель, предназначенная для совместного обслуживания разнотипного трафика в беспроводных узлах доступа. Эта модель соответствует современным требованиям телекоммуникаций: скорость передачи данных зависит от природы запроса, запросы от чувствительных к задержке онлайн-приложений имеют приоритет, файлы данных группируются в разной конфигурации, демонстрируют эластичность и терпимость к временному хранению, теряя свою полезность с течением времени.
2. Используя построенную математическую модель, выведены точные аналитические формулы для расчета важных метрик производительности, таких как вероятность отказов в обработке, среднее потребление ресурсов, длительность доставки пакета и общее количество находящихся в очереди сообщений. Проведенное исследование демонстрирует, как характерные особенности трафика влияют на оптимальное распределение ресурсов и обеспечивают высокое качество обслуживания пользователей.
3. Точная оценка стационарных вероятностных состояний модели осуществляется методом решения системы уравнений равновесия. Разработан эффективный вычислительный алгоритм, основанный на итерации Гаусса-Зейделя, позволяющий быстро получать численные решения даже для систем с большим числом состояний.
4. Предлагается приближенный метод оценки характеристик, который предполагает деление всей модели на два отдельных блока: первый предназначен для обработки данных реального времени, второй – для транспортировки гибкого файлового трафика. Вычисления ведутся простыми рекуррентными выражениями, которые

работают независимо от первоначальных настроек. Данный метод рассчитан на работу в ситуациях с низкой нагрузкой и служит инструментом для нахождения необходимого значения пропускной способности узла.

### **Достоверность и обоснованность полученных результатов**

Достоверность и обоснованность полученных результатов обусловлена применением методов теории телетрафика, теории вероятностей, теории массового обслуживания.

### **Практическая ценность**

Практическая значимость работы заключается в том, что созданный в ходе исследования инструментальный аппарат способен обеспечить дифференцированное обслуживание разнородного трафика в беспроводных сетях доступа. Выводы и рекомендации, представленные в исследовании, служат научно-теоретическим фундаментом для управленческих решений, направленных на улучшение эффективного распределения каналов передачи данных. Основные результаты внедрены в образовательный процесс кафедры «Сети связи и системы коммутации» Московского технического университета связи и информатики (МТУСИ), а также нашли применение в организациях ООО «ЕПСКОМ» и ЗАО «Испытательный центр МирТелест», что подтверждено соответствующими актами о реализации.

### **Апробация работы**

Основные результаты диссертационной работы были представлены на ряде международных научно-технических форумов. По результатам проведенных исследований опубликовано 16 статей, среди которых три статьи вышли в журналах, рекомендованных ВАК; шесть публикаций вошли в международные базы научного цитирования Scopus; три работы размещены в российских научных изданиях, индексируемых в РИНЦ, а также зарегистрированы четыре программы для ЭВМ в Федеральной службе по интеллектуальной собственности (РОСПАТЕНТ).

### **Замечания по диссертационной работе**

1. В диссертации недостаточно детально выполнена оценка вычислительной сложности точного и приближенного расчета характеристик обслуживания поступающих заявок в зависимости от величин структурных параметров модели: числа потоков, числа виртуальных каналов и мест ожидания.
2. Из текста диссертации неясно, какой именно язык программирования использовался при написании программного обеспечения, применяемого для численных экспериментов.
3. Требуется пояснения возможность реализации концепции network slicing для узлов доступа мобильных сетей, основанных на технологии LTE.
4. Некоторые результаты, полученные во втором разделе диссертации, представляются достаточно сложными для восприятия и могут быть вынесены в приложение к работе. Это относится к выводу системы уравнений равновесия, связывающей значения стационарных вероятностей обобщенной модели беспроводного узла доступа.
5. Требуется пояснения выбор значений входных параметров узлов доступа при проведении вычислений, иллюстрирующих практические приложения разработанной модели и средств оценки ее характеристик.
6. Помимо прочего, имеются некоторые замечания редакционного характера, касающиеся стилистического совершенствования текста и устранения мелких погрешностей.

### **Заключение**

Диссертационная работа Канищевой Маргариты Геннадьевны является законченной научной квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно на актуальную тему и на достаточном научном уровне. Задачи, решенные в диссертации, имеют существенное значение для развития сетей беспроводной связи. Автореферат диссертации соответствует основному содержанию диссертации. По новизне, уровню научной проработки и практической значимости полученных результатов работа отвечает п. 9 Постановления Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 «Положение о присуждении ученых степеней».

Диссертация соответствует паспорту специальности 2.2.15 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций по п.1. Разработка, и совершенствование методов исследования, моделирования и проектирования сетей, систем и устройств телекоммуникаций и п. 18. Разработка научно-технических основ создания сетей, систем и устройств телекоммуникаций и обеспечения их эффективного функционирования.

Ее автор, Канищева Маргарита Геннадьевна заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Официальный оппонент,  
Кочеткова Ирина Александровна,  
к.ф.-м.н., доц., доцент кафедры теории  
вероятностей и кибербезопасности РУДН

27 августа 2025 г.



И.А. Кочеткова

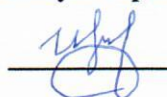
Сведения об оппоненте:

Кочеткова (Гудкова) Ирина Андреевна, гражданка Российской Федерации, кандидат физико-математических наук по специальности 05.13.17 «Теоретические основы информатики» (2011 г.), доцент по специальности 05.13.17 «Теоретические основы информатики» (2015 г.), доцент кафедры теории вероятностей и кибербезопасности ФГАОУ ВО РУДН  
Адрес: 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6  
+7 (495) 955-07-13, kochetkova-ia@rudn.ru

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (РУДН)  
Адрес: 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6  
<http://www.rudn.ru/>, +7 (499) 936-87-87, rudn@rudn.ru

Я, Кочеткова Ирина Андреевна, даю согласие на включение своих персональных данных, содержащихся в настоящем отзыве, в документы, связанные с защитой диссертации Канищевой Маргариты Геннадьевны, и их дальнейшую обработку.

27 августа 2025 г.



И.А. Кочеткова

Подпись Кочетковой И.А. удостоверяю

Зарядов Иван Сергеевич,  
к.ф.-м.н., ученый секретарь Ученого совета  
факультета физико-математических  
и естественных наук РУДН

27 августа 2025 г.



И.С. Зарядов