

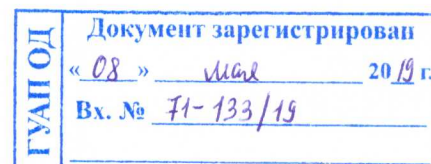
## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Андреева Сергея Дмитриевича «Разработка и исследование моделей множественного доступа и алгоритмов управления потоками трафика для гетерогенных беспроводных сетей», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.12.13 – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций»

### Актуальность темы диссертационной работы

Одной из основных тенденций развития телекоммуникаций является необходимость совместного обслуживания разнородных потоков трафика, образованных терминальными устройствами и программно-аппаратными комплексами, обеспечивающими доступ пользователей к информационным услугам. Также необходимо отметить изменение структуры пользователей. Подавляющая их часть формируется за счет разнообразных датчиков, подключенных посредством сети Интернет к аналитическим центрам обработки информации. Эти устройства являются элементами сети оператора, предоставляющего услуги сбора и обработки данных разного рода наблюдений в рамках реализации концепции Интернета Вещей. Часто эти сети разворачиваются в местах, где ограничена или вообще не имеется возможности применения фиксированной проводной связи. Это вынуждает оператора использовать ресурс разнообразных беспроводных сетей для обслуживания возникающих информационных потоков. В силу известных причин этот ресурс ограничен и должен использоваться с максимальной эффективностью.

Одним из способов решения сформулированной задачи является применение нового вида организации связи, рассмотренного автором диссертации. Он заключается в перенаправлении возникающих потоков трафика в сети других технологий радиодоступа в целях снижения нагрузки на сотовую сеть. Использование новых принципов организации связи требует научного обоснования, состоящего в разработке и исследовании комплекса моделей организации множественного доступа и алгоритмов перенаправления информационных потоков в гетерогенных беспроводных сетях, которые обеспечивают системное решение задач, связанных с их эффективным применением. К подобным задачам относятся моделирование гетерогенной сети с набором интегрированных технологий радиодоступа и возможностью установления прямых соединений; учет свойств, вносимых количеством устройств и особенностями их использования; разработка методов оценки характеристик качества обслуживания потоков трафика от взаимодействующих устройств и т.д. Именно эти вопросы и были рассмотрены в диссертации Андреева Сергея Дмитриевича, что говорит об актуальности выполненного исследования.



## Содержание работы

Диссертационная работа Андреева С.Д. состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и шести приложений.

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации, формулируются цели и задачи исследования, излагается научная новизна, перечисляются основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава является обзорной и включает в себя характеристику развития гетерогенных сетей связи 5G. Рассмотрены предпосылки их создания. Отмечается, что применение сетей 5G не ограничивается сервисами, предназначенными только для людей. Они также должны обеспечить услугами связи разнообразные устройства межмашинного взаимодействия. Важнейшей характеристикой топологии сетей связи 5G является многослойность покрытия, состоящего из базового слоя макросот с дополнительными слоями сот малой емкости, таких как пикосоты, фемтосоты, а также слоя точек доступа WiFi. Автор отмечает, что сети связи 5G имеют целый ряд возможностей и функций, направленных на увеличение производительности современных беспроводных сетей связи. В их числе: возможности интеграции технологий радиодоступа, использование прямых соединений между устройствами для разгрузки сотовой связи, переход в область высоких частот и применение механизмов поддержки приложений Интернета Вещей. Отмечается, что обоснованное использование перечисленных возможностей и будет предметом исследования в диссертационной работе.

Во второй главе построены и исследуются две модели гетерогенной сети с набором интегрированных между собой технологий радиодоступа. В первой модели учитывается динамика поступления сессий связи, геометрия размещения узлов сети, а также наличие многослойной топологии сети, состоящей из базовых станций макрослоя и пикослоя, а также точек доступа WiFi. Разработаны численные алгоритмы оценки характеристик качества обслуживания сессий. В их числе вероятность отказа в обслуживании поступающей сессии, а также среднее число сессий, находящихся на обслуживании. В другой модели исследуется использование более тесной интеграции технологий LTE и WiFi, под которой понимается возможность ведения одновременной передачи информации по обеим радиотехнологиям. На численных примерах показано, что согласованное применение перечисленных сетей доступа позволяет достичь существенного улучшения качества обслуживания пользователей услуг связи.

В третьей главе рассмотрено решение комплекса задач, направленных на теоретическое обоснование выгрузки сотового трафика на прямые соединения типа «устройство – устройство» (D2D) между абонентскими терминалами, находящимися на небольшом расстоянии друг от друга. В соответствии с предложенной процедурой вначале делается попытка обслужить поступившую сессию в слое D2D. Если попытка оказалась неуспешной, то сессия передается на обслуживание в сотовый слой или получает отказ, если сотовый

слой не обладает должным объемом свободного ресурса для передачи информации. Далее в третьей главе проведено аналитическое исследование возможности передачи данных в диапазоне крайне высоких частот. Основное внимание акцентируется на анализе процесса блокирования канала прямой видимости из-за появления препятствий. Построенные модели и разработанные с их помощью алгоритмы оценки характеристик качества обслуживания сессий связи позволяют исследовать зависимость характеристик от перечисленных выше особенностей передачи данных в сетях 5G.

Четвертая глава посвящена анализу процедур конкурентного обслуживания большого числа пользователей, представляющих из себя устройства межмашинного взаимодействия. Особенностью таких систем является низкая частота поступления сессий связи и малый объем передаваемой информации. Построенная модель позволяет оценить величину вероятности блокировки и тем самым обосновать процедуры, направленные на устранение возможных перегрузок. Также в этой главе построена и исследуется модель сети радиодоступа для обслуживания плотно размещенных носимых устройств с целью оценки показателей энергетической эффективности пересылки потокового трафика и формулировки рекомендаций по уменьшению потребляемой энергии.

В пятой главе предложена процедура управления назначением прямых соединений D2D в сети с интегрированными технологиями радиодоступа, позволяющая существенно снизить нагрузку на сотовую сеть. Рассмотрена ее реализация для модельной сети 3GPP LTE с высокой плотностью числа пользователей. Далее в пятой главе исследуются особенности организации прямого взаимодействия абонентских терминалов с сетевым кодированием передаваемой информации. Разработанный алгоритм распределения трафика пользователей позволяет сравнить различные режимы транспортировки контента с целью выбора эффективных решений.

### **Научная новизна и теоретическая значимость полученных результатов**

Автором диссертационного исследования получены следующие основные новые научные результаты:

- Сформулированы и обоснованы теоретические и практические направления исследований в области организации нового эффективного вида пересылки информации в гетерогенных беспроводных сетях связи, основанного на перенаправлении возникающих потоков трафика в сети других технологий радиодоступа. Среди них: модели множественного доступа; процедуры распределения трафика; алгоритмы оценки показателей обслуживания поступающих сессий связи.
- Разработаны модели и алгоритмы оценки характеристик качества обслуживания сессий в гетерогенной сети с набором интегрированных между собой технологий радиодоступа, в которых учитываются основные особенности формирования и

обслуживания сессий связи. Среди них: динамика поступления сессий, геометрия размещения узлов сети, наличие многослойной топологии сети, возможность установления прямых соединений.

- Предложен и проанализирован алгоритм передачи трафика в условиях использования высокочастотного спектра, основанный на подключении пользователя к нескольким узлам сетевой инфраструктуры.
- Разработаны модели и алгоритмы оценки вероятности блокировки, а также других показателей эффективности обслуживания сессий связи для процедур конкурентного доступа в условиях подсоединения к сети большого числа пользователей.
- Предложен алгоритм распределения возникающих потоков трафика в гетерогенной сети с использованием прямых соединений, основанный на применении методов сетевого кодирования.

### **Практическая ценность полученных результатов**

Практическая ценность полученных результатов определяется постановкой задач, рассмотренных в диссертационном исследовании. Предложенные модели и методы могут служить основой для обоснования методик повышения эффективности использования ограниченного ресурса гетерогенных беспроводных сетей связи за счет перенаправления возникающих потоков трафика в сети других технологий радиодоступа. Разнообразие предложенных в диссертации моделей и методов предоставляет возможность их выбора с учетом ожидаемой точности оценки, топологии сети, возможностей по управлению процессом передачи трафика и т.д. Эффективность реализации предложенных в диссертации моделей и методов иллюстрируется примерами численных расчетов. Практическую ценность результатов подтверждает большое число актов о внедрении, а также доведение разработанных моделей и методов до программных продуктов.

### **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций**

Обоснованность и достоверность научных положений и результатов проведенных исследований подтверждаются адекватностью выбранных математических моделей, корректным анализом этих моделей, проверкой выдвинутых гипотез и сделанных допущений методами численного моделирования. Обоснованность и достоверность всех результатов, сформулированных в качестве выносимых на защиту положений, подтверждаются публикациями автора в ведущих отечественных и зарубежных изданиях и результатами их обсуждения на многочисленных отечественных и международных семинарах, конференциях и симпозиумах, а также реализацией ряда положений диссертации на практике.

## **Замечания по содержанию и оформлению диссертации**

1. Следует с большей подробностью определить понятие сессии связи (стр. 68). В частности, ее технические характеристики: диапазон изменения скорости передачи информации, длительность и частоту появления сессий в процессе организации сеанса связи от одного пользователя, а также возможность применения пуассоновской модели к описанию процесса поступления суммарного потока сессий.
2. В диссертации в основном рассматривается процесс обслуживания трафика реального времени. Было бы интересно применить разработанные автором модели и методы выгрузки трафика к обслуживанию данных, обладающих свойством эластичности.
3. В работе приводится довольно много результатов имитационного моделирования для оценки эффективности предложенных автором алгоритмов выгрузки трафика. Следовало бы привести краткую характеристику имитационных программ, их доступность, а также изложить более детальное обоснование к используемым сценариям выбора значений входных параметров, включая топологию сети и число взаимодействующих сетей беспроводного доступа.
4. При общей весьма положительной оценке качества изложения и подготовки иллюстративного материала в работе отмечены отдельные опечатки и стилистические неточности. Так в подписях к рис. 2.5, 2.7 и 2.8 указано на зависимость среднего числа сессий, а по оси ординат отмечается, что приводится среднее число пользователей; на рис. 3.8 и 3.9 не указано, вероятность какого события представлена по оси ординат. Не определена функция распределения интервала времени выхода пользователей из системы (стр. 265), а указана только интенсивность выхода.

## **Общее заключение по диссертации**

Отмеченные выше недостатки не влияют на общую положительную оценку диссертации Андреева Сергея Дмитриевича. Она представляет собой законченную научную работу, в которой на высоком теоретическом уровне решена актуальная проблема разработки и исследования моделей множественного доступа и алгоритмов управления потоками трафика для гетерогенных беспроводных сетей, имеющая важное значение для развития действующих и перспективных сетей и систем связи. Включенные в диссертацию научные результаты Андреева С.Д. получили высокую оценку специалистов и завоевали ему заслуженный авторитет.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в открытой печати, в том числе изданиях, рекомендованных ВАК при Министерстве образования и науки РФ. Текст автореферата правильно отражает содержание диссертации.

На основе вышеизложенного можно заключить, что диссертация Андреева Сергея Дмитриевича «Разработка и исследование моделей множественного доступа и алгоритмов управления потоками трафика для гетерогенных беспроводных сетей» является законченным научным исследованием, полностью удовлетворяющим критериям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (в действующей редакции), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук по специальности 05.12.13 – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций», а ее автор, Андреев Сергей Дмитриевич, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по этой специальности.

Официальный оппонент,  
заведующий кафедрой «Сети связи и системы  
коммутации», МТУСИ

д.т.н., профессор

С.Н. Степанов

Подпись Степанова С.Н. заверяю

Ученый секретарь Ученого совета МТУСИ



Т.В. Зотова

24.04.2019

Сведения об оппоненте:

Степанов Сергей Николаевич, гражданин Российской Федерации, доктор технических наук по специальностям 05.25.01 – «Теоретические основы информатики» и 05.12.14 – «Сети, узлы связи и распределение информации», профессор, заведующий кафедрой «Сети связи и системы коммутации» ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики» (МТУСИ).

Адрес: ул. Авиамоторная, д.8а, Москва, 111024.

Телефон: (495) 957-77-31, E-mail: stpnvsrg@gmail.com