

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.233.05
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ», МИНИСТЕРСТВО
ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____

Решение диссертационного совета от 28 мая 2019 г. № 3/19

о присуждении Андрееву Сергею Дмитриевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Разработка и исследование моделей множественного доступа и алгоритмов управления потоками трафика для гетерогенных беспроводных сетей»

по специальности 05.12.13 – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций»
принята к защите 19 февраля 2019 года, протокол № 2/19, диссертационным советом Д 212.233.05, созданном на базе Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, приказ №741/нк от 08.07.2015 г.

Соискатель Андреев Сергей Дмитриевич, 1984 года рождения, гражданин Российской Федерации. Диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук «Централизованное управление множественным доступом в сетях передачи информации при высокой загрузке» защитил в 2009 году, в диссертационном совете, созданном на базе Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования

«Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» (ГУАП), г. Санкт-Петербург. Работает в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет дружбы народов» (РУДН), г. Москва в должности директора научного центра моделирования беспроводных сетей 5G Института прикладной математики и телекоммуникаций РУДН.

Диссертация выполнена на кафедре прикладной информатики и теории вероятностей факультета физико-математических и естественных наук Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов» (ФГАОУ ВО РУДН), Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научные консультанты – доктор технических наук, Самуйлов Константин Евгеньевич, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов», кафедра прикладной информатики и теории вероятностей, профессор, заведующий кафедрой и доктор технических наук, Тюрликов Андрей Михайлович, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», кафедра инфокоммуникационных систем, профессор, заведующий кафедрой.

Официальные оппоненты:

1. Никульский Игорь Евгеньевич, доктор технических наук, старший научный сотрудник, ОАО «ЦНПО «Ленинец», научно-исследовательское отделение (НИО) №130, отдел №133, главный специалист, зам. главного конструктора.

2. Парамонов Александр Иванович, доктор технических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им.

проф. М.А. Бонч-Бруевича», кафедра сетей связи и передачи данных, профессор.

3. Степанов Сергей Николаевич, доктор технических наук, профессор, Ордена Трудового Красного Знамени Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский технический университет связи и информатики», кафедра сетей связи и систем коммутации, профессор, заведующий кафедрой.

дали **положительные** отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук (ИПУ РАН), г. Москва, в своем **положительном** заключении, подписанном доктором технических наук, профессором, заведующим лабораторией №69 «Управление сетевыми системами» Вишневым Владимиром Мироновичем и утвержденным заместителем директора ИПУ РАН, кандидатом физико-математических наук, Барабановым Иваном Николаевичем, указала, что диссертационная работа Андреева С.Д. является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена крупная научная проблема по созданию моделей и алгоритмов для обеспечения эффективного функционирования гетерогенных беспроводных сетей, имеющая важное хозяйственное значение. Полученные автором результаты отличаются научной новизной и практической значимостью. Основные положения широко апробированы на значимых российских и зарубежных конференциях, на семинарах в ведущих университетах и исследовательских центрах. Научные результаты диссертации достаточно полно опубликованы в ведущих российских и зарубежных изданиях. Название работы полностью отражает ее содержание, а тематика диссертации соответствует пунктам 4, 5, 11, 12 и 14 паспорта специальности 05.12.13 – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций».

Соискатель имеет 215 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 68 работ, из них в рецензируемых научных изданиях

опубликовано 12 работ, и 32 работы индексируются в Scopus и Web of Science. Получены акты о внедрении результатов диссертационной работы от пяти организаций: Российский университет дружбы народов (РУДН), Москва; Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича (СПбГУТ), Санкт-Петербург; публичное акционерное общество «ГИПРОСВЯЗЬ», Москва; научно-исследовательский институт радио (ФГУП НИИР), Москва; общество с ограниченной ответственностью «ЭВС», Санкт-Петербург. Общий объем научных изданий составляет 48,5 печатных листов, из которых 13,5 листов отражают личный вклад соискателя в работах, опубликованных вместе с соавторами.

Наиболее **значительные научные работы** по теме диссертации:

1. *Андреев, С.Д.* Управление потоками в гетерогенных мобильных сетях радиодоступа с соединениями устройство — устройство / С.Д. Андреев, К.Е. Самуйлов, А.М. Тюрликов // *Вестник РУДН. Серия: Математика. Информатика. Физика.* — 2018. — Т. 26, № 4. — С. 357–370. (объем 0,88 п.л. / авторский вклад 0,29 п.л.)

Личный вклад: соискателем разработана модель гетерогенной сети с возможностью установления прямых соединений между соседними устройствами.

2. *Андреев, С.Д.* Учет специфики доступа большого числа устройств при межмашинном взаимодействии в современных сотовых сетях / О.С. Галинина, С.Д. Андреев, А.М. Тюрликов // *Информационно-управляющие системы.* — 2018. — № 4. — С. 105–114. (объем 0,63 п.л. / авторский вклад 0,21 п.л.)

Личный вклад: соискателем предложена модель сотовой сети с конкурентным обслуживанием большого числа пользователей.

3. *Андреев, С.Д.* Пространственно-временной подход к анализу гетерогенных систем связи / С.Д. Андреев, Е.А. Кучерявый, К.Е. Самуйлов // *Электросвязь.* — 2018. — № 9. — С. 20–26. (объем 0,44 п.л. / авторский

вклад 0,15 п.л.)

Личный вклад: соискателем разработана модель гетерогенной сети с набором интегрированных между собой технологий радиодоступа.

4. *Андреев, С.Д.* Разработка и исследование системы прямых соединений D2D с сотовой поддержкой LTE / А.В. Пяттаев, С.Д. Андреев, Е.А. Кучерявый // *Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление.* — 2018. — Т. 11, № 2. — С. 19–34. (объем 1,0 п.л. / авторский вклад 0,33 п.л.)

Личный вклад: соискателем предложен протокол управления системой прямых соединений для гетерогенной сети с интегрированными радиотехнологиями.

5. *Андреев, С.Д.* Концепция фантомных пользователей для исследования гетерогенных сетей / Е.А. Кучерявый, С.Д. Андреев // *Электросвязь.* — 2018. — № 4. — С. 41–47. (объем 0,44 п.л. / авторский вклад 0,22 п.л.)

Личный вклад: соискателем предложен алгоритм с разделением пользовательской сессии для управления потоками трафика в гетерогенной сети.

6. *Andreev, S.* Flexible and Reliable UAV-Assisted Backhaul Operation in 5G mmWave Cellular Networks / M. Gapeyenko, V. Petrov, D. Moltchanov, et al. // *IEEE Journal on Selected Areas in Communications.* — 2018. — Vol. 36, no. 11. — Pp. 2486–2496. (объем 0,69 п.л. / авторский вклад 0,24 п.л.)

Личный вклад: соискателем сформулирован алгоритм с одновременным подключением пользователя к нескольким узлам сетевой инфраструктуры.

7. *Andreev, S.* Assessing System-Level Energy Efficiency of mmWave-Based Wearable Networks / O. Galinina, A. Pyattaev, K. Johnsson, et al. // *IEEE Journal on Selected Areas in Communications.* — 2016. — Vol. 34, no. 4. — Pp. 923–937. (объем 0,94 п.л. / авторский вклад 0,31 п.л.)

Личный вклад: соискателем разработана модель сети радиодоступа для

обслуживания множества плотно размещенных носимых устройств.

8. *Andreev, S. Understanding Practical Limitations of Network Coding for Assisted Proximate Communication / A. Pyattaev, O. Galinina, S. Andreev, et al. // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. — 2015. — Vol. 33, no. 2. — Pp. 156–170. (объем 0,94 п.л. / авторский вклад 0,38 п.л.)*

Личный вклад: соискателем сформулирован алгоритм распределения трафика пользователей в гетерогенной системе прямых соединений.

В диссертации Андреева С.Д. отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных работах соискателя, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

На диссертацию и автореферат поступили **отзывы из 12 организаций (все отзывы положительные):**

1. ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики» (подписал заведующий кафедрой информационной безопасности, доктор технических наук, профессор В.Г. Карташевский). Замечания: 1) в автореферате не говорится о том, как заручиться согласием владельцев мобильных устройств на установление прямых соединений и пересылку через них трафика других пользователей; 2) не совсем понятно, каким образом автор предлагает отслеживать прерывание сессии вследствие блокирования радиоканала препятствием, и какой критерий будет использоваться для этого на практике.
2. ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» (подписал профессор кафедры передачи дискретных сообщений и метрологии, доктор технических наук, В.П. Шувалов). Замечания: 1) на стр. 27 автореферата говорится, что «местоположение ПТД на плоскости подчиняется пуассоновскому точечному процессу». Насколько оправдано такое положение?; 2) на рис. 13 (стр. 28) представлены графики зависимости энергетической эффективности сети носимых устройств от длины суперкадра для различных значений μ . Говорить о поиске

оптимального значения суперкадра можно только при $\mu = 0,6$ с направленной передачей. Каковы реальные значения μ ?

3. Санкт-Петербургский филиал ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт связи» ЛО ЦНИИС (подписал главный научный сотрудник, доктор технических наук, старший научный сотрудник Н.А. Соколов). Замечания: 1) узкие рамки автореферата в ряде случаев не позволили привести подробности относительно работы предложенных автором алгоритмов управления информационными потоками. Например, в случае алгоритма с разделением пользовательской сессии для совмещенной сети радиодоступа не указано, какой критерий оптимизации был использован при делении потока данных между сетями LTE и WiFi; 2) из текста автореферата не очевидны особенности практического применения предложенного алгоритма распределения трафика пользователей, использующего методы сетевого кодирования. В частности, не ясно, отключается ли от сети устройство, которое получило файл полностью, или продолжает присутствовать, участвуя в раздаче данного контента другим пользователям.
4. ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет» (подписал профессор кафедры радиофизики, доктор физико-математических наук, профессор Ю.С. Радченко). Замечания: 1) из автореферата не очевидно, какие именно технологии радиодоступа рассматриваются при оценке числа обслуживаемых пользователей на рисунке 7; 2) из автореферата не ясно, какой пакет имитационного моделирования используется для оценки скорости передачи данных на рисунке 15 при работе системы прямого взаимодействия с сетевым содействием; 3) в автореферате совсем не затронут физический уровень взаимодействия систем, совместимость на физическом уровне различных устройств. Не указано, как это влияет на доставку сообщений; 4) в работе рассматривается простой вариант блокирования прямой видимости – затенение пользователя препятствием.

Однако многолучевое распространение сигналов Indoor и Outdoor существенно меняет характер приема сигнала.

5. ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет» (подписала профессор кафедры теории вероятностей и математической статистики, доктор физико-математических наук, профессор С.П. Моисеева). Замечания: 1) в автореферате недостаточно внимания уделено типам входных потоков сессий: не везде полностью указаны их свойства, рассматриваемые автором в моделях; 2) не отмечено, будет ли функционировать протокол, приведенный на рисунке 14, при наличии других технологий радиодоступа, отличных от LTE и WiFi.
6. АО «Российский институт мощного радиостроения» (составили ведущий научный сотрудник отдела 00200, кандидат технических наук, старший научный сотрудник Е.Ф. Щеглова и заместитель начальника отдела 00200, кандидат технических наук М.Б. Клионский; утвердил первый заместитель генерального директора – технический директор, доктор технических наук, доцент С.А. Лобов). Замечания: 1) из материалов автореферата неясно, какие значения параметров модели движения препятствий были выбраны при исследовании динамического блокирования канала прямой видимости; 2) в автореферате не приведены сведения о надежности функционирования различных сетей радиодоступа в рамках гетерогенной системы связи, в частности, отсутствует статистика отказов соответствующего сетевого оборудования.
7. ФГБУН Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук (подписал директор, главный научный сотрудник, доктор технических наук, профессор А.Л. Ронжин). Замечания: 1) в названии следовало упустить слова «разработка и исследование» и раскрыть научную новизну моделей; 2) при формулировке пунктов научной новизны следовало уточнить типы разработанных моделей; 3) в материалах автореферата не представлены сведения о влиянии помех в канале связи на эффективность

работы разработанных алгоритмов управления потоками трафика, а также отсутствуют сведения о точности получаемой аппроксимации после укрупнения состояний исходных марковских процессов, описывающих предложенные модели множественного доступа.

8. ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» (подписал заведующий кафедрой электрическая связь, доктор технических наук, профессор А.К. Канаев). Замечания: 1) не рассмотрен вопрос о том, как соотносятся вероятность блокировки в гетерогенной сети (рисунок 3) и вероятность сброса сессии (рисунок 9); 2) следовало бы уделить большее внимание реалистичности структуры контента. Предполагается, что все единицы контента имеют одинаковый размер (глава 5).
9. ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» (подписал заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор С.Б. Макаров; утвердил проректор по научной работе, член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор В.В. Сергеев). Замечания: 1) автором не пояснено, все ли из представленных моделей множественного доступа могут быть обобщены на случай способа размещения пользователей согласно кластерному точечному процессу; 2) из приведенного описания алгоритмов управления потоками трафика неясно, как они учитывают особенности радиотракта пользователя.
10. ПАО «Интелтех» (подписали заместитель директора НТЦ-1 по развитию, доктор технических наук, профессор Н.И. Лычагин и главный специалист отдела, доктор технических наук, доцент В.И. Бобровский; утвердил первый заместитель генерального директора по научной работе, доктор технических наук И.А. Кулешов). Замечания: 1) в автореферате не приведена информация о возможности расширения представленных моделей множественного доступа на случай учета вертикального измерения (кроме модели из главы 3); 2) в автореферате отсутствуют ссылки на работы Бунина С.Г., Войтера

А.П., Путилина А.Н., Присяжнюка С.П., Комашинского В.И., имеющих значимые работы в данной предметной области; 3) из автореферата неясно, как вычисляются калибровочные значения для вероятностей коллизии и успешного доступа, приведенные на рисунке 11.

11. ПАО «Ростелеком» (подписал директор проектов центра кибербезопасности и защиты, кандидат технических наук Д.В. Тарасов). Замечания: 1) несмотря на подробное описание математической и алгоритмической составляющих диссертационного исследования, в автореферате не приведены формальные описания предложенных соискателем алгоритмов; 2) из материалов автореферата не ясно, как устанавливается вероятность π , с которой устройство может инициировать свое начальное соединение с сетью.

12. ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный экономический университет» (подписал профессор кафедры информационных систем и технологий, доктор технических наук, профессор М.О. Колбанёв). К содержанию автореферата можно сделать замечание по недостатку иллюстраций для разработанных автором алгоритмов управления потоками трафика в виде схем или диаграмм. Например, в главе 5 приведен протокол для реализации прямых соединений D2D. Подобную степень детализации хотелось бы видеть и для других предложенных алгоритмов.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их известностью своими достижениями в области современных телекоммуникационных систем и наличием соответствующих публикаций, в том числе в ведущих журналах, определенных ВАК при Минобрнауки России. Выбор ИПУ РАН в качестве ведущей организации обусловлен огромным опытом настоящего учреждения Российской Академии Наук в области гетерогенных беспроводных сетей, а также большим числом публикаций в данной предметной области.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны алгоритм с разделением пользовательской сессии, алгоритм с одновременным подключением пользователя к нескольким узлам сетевой инфраструктуры, алгоритм с применением методов сетевого кодирования для распределения трафика пользователей, а также протокол управления системой прямых соединений для гетерогенной сети;

предложены модель гетерогенной сети с набором интегрированных между собой технологий радиодоступа, модель гетерогенной сети с возможностью установления прямых соединений между соседними устройствами, модель сотовой сети с конкурентным обслуживанием большого числа пользователей и модель сети радиодоступа для обслуживания множества плотно размещенных носимых устройств;

доказано преимущество предложенных моделей организации коллективного использования ресурса для гетерогенных беспроводных сетей, а также созданных алгоритмов управления информационными потоками с целью снижения нагрузки на сотовую сеть по отношению к существующим решениям;

введена новая методология, которая впервые объединяет учет динамики обслуживания потоков трафика пользователей во времени и геометрию размещения узлов сети в пространстве с целью решения важной научно-технической проблемы по созданию моделей и алгоритмов для обеспечения эффективного функционирования гетерогенных беспроводных сетей.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана с применением типовых моделей корректность разработанной пространственно-временной методологии, развивающей и объединяющей методы теории массового обслуживания и стохастической геометрии, которая отличается от известных как своим комплексным подходом, так и учетом основных особенностей текущего этапа развития беспроводных систем;

применительно к проблематике диссертации результативно и эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов

использованы методы теории вероятностей, теории марковских случайных

процессов, теории массового обслуживания и математической теории телетрафика; для проверки основных положений теоретических исследований применено имитационное моделирование и проведены натурные испытания в рамках модельной сети;

изложены принципы построения перспективных моделей и алгоритмов для обеспечения эффективного функционирования гетерогенных беспроводных сетей;

раскрыты особенности разработки моделей множественного доступа для оценки показателей качества обслуживания пользователей в гетерогенных беспроводных сетях;

изучены предложенные алгоритмы перенаправления информационных потоков для снижения нагрузки на сотовую сеть;

проведена модернизация моделей и алгоритмов для гетерогенных беспроводных сетей, которая вносит существенный вклад в исследование путей совершенствования управления информационными потоками.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны и внедрены обоснованные рекомендации для научно-исследовательских, проектных организаций и телекоммуникационных компаний, такие как «Методика оценки показателей эффективности для проектирования гетерогенных беспроводных сетей» (внедрена в ПАО «ГИПРОСВЯЗЬ»);

определены перспективы практического применения разработанных моделей и алгоритмов для современных гетерогенных беспроводных сетей, которые используются в РУДН, СПбГУТ, ПАО «ГИПРОСВЯЗЬ», ФГУП НИИР и ООО «ЭВС»;

созданы практические рекомендации по надлежащему выбору моделей и алгоритмов в зависимости от задач, которые рассматривались при выполнении ряда крупных научно-исследовательских проектов, в том числе при

исследованиях по грантам РНФ (16-11-10227), РФФИ (17-07-00845, 17-07-00142, 15-07-03051, 10-08-01071), а также при выполнении НИР в рамках госзадания (2.882.2017/4.6) и при создании в РУДН модельной сети лаборатории опережающих исследований сетей 5G (начиная с 2017 г.);

представлены предложения и рекомендации по дальнейшему развитию учебно-методических комплексов для лекционных курсов, постановок задач для выпускных квалификационных работ бакалавров по направлениям подготовки 02.03.01 «Математика и компьютерные науки» и 02.03.02 «Фундаментальная информатика и информационные технологии», магистров по направлению подготовки 02.04.02 «Фундаментальная информатика и информационные технологии», программа «Управление инфокоммуникациями и интеллектуальные системы» на кафедре прикладной информатики и теории вероятностей факультета физико-математических и естественных наук РУДН.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ результаты получены с использованием реализованной под непосредственным руководством соискателя системы моделирования, которая является современным инструментом для анализа и разработки сетевых протоколов и алгоритмов, и согласуются с имеющимися практическими результатами в данной предметной области;

теория согласуется с известными моделями теории массового обслуживания и теории телетрафика, методами анализа на основе стохастической геометрии, моделями множественного доступа и методами передачи данных;

идея базируется на обобщении передового опыта ведущих отечественных и зарубежных ученых;

использованы результаты сравнения полученных в работе экспериментальных результатов с ранее известными практическими результатами;

установлено качественное совпадение результатов работы с результатами независимых источников по тематике исследования;

использованы современные методики сбора и обработки информации.

Личный вклад соискателя состоит в постановке задач исследований, разработке теоретических моделей и формулировке предложенных алгоритмов, планировании имитационных исследований и экспериментов, обработке данных и интерпретации полученных результатов, обобщении результатов в виде обоснованных выводов и рекомендаций, изложении содержания исследований в форме научных публикаций и апробации результатов.

На заседании 28 мая 2019 года диссертационный совет принял решение присудить **Андрееву Сергею Дмитриевичу** ученую степень доктора технических наук по специальности 05.12.13 – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций».

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 9 докторов наук по специальности 05.12.13, участвовавших в заседании, из 22 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение ученой степени – 16, против присуждения ученой степени – 1, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель диссертационного совета Д 212.233.05
доктор технических наук, профессор

Крук Евгений Аврамович

Ученый секретарь диссертационного совета Д 212.233.05
кандидат технических наук, доцент

Овчинников Андрей Анатольевич

«28» мая 2019 года