

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 55.2.004.01,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ ИМ. ПРОФ. М.А. БОНЧ-БРУЕВИЧА»  
МИНИСТЕРСТВА ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ, СВЯЗИ И МАССОВЫХ  
КОММУНИКАЦИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ,  
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 14 июня 2023 г. № 7

О присуждении Алзагиру Аббасу Али Хасану, гражданину Республики Ирак, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Исследование моделей трафика для сетей связи пятого поколения и разработка методов его обслуживания с использованием БПЛА» по специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций принята к защите 12 апреля 2023 года, протокол № 3 диссертационным советом 55.2.004.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича» Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации, 191186, Санкт-Петербург, наб. реки Мойки, д. 61, приказ № 258/нк от 27 марта 2019 года.

Соискатель Алзагир Аббас Али Хасан, 17.02.1989 года рождения с 2019 по настоящее время является аспирантом федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича».

В 2017 году соискатель окончил федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» с присвоением квалификации

магистра по направлению подготовки «Инфокоммуникационные технологии и системы связи».

Диссертация выполнена на кафедре сетей связи и передачи данных в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича», Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, Кучерявый Андрей Евгеньевич, основное место работы: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича», кафедра сетей связи и передачи данных, заведующий кафедрой.

Оппоненты: 1. Колбанёв Михаил Олегович, доктор технических наук, профессор, основное место работы: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный экономический университет», кафедра информационных систем и технологий, профессор кафедры; 2. Степанов Михаил Сергеевич, кандидат технических наук, доцент, основное место работы: Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский технический университет связи и информатики», кафедра сетей связи и систем коммутации, доцент кафедры, дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов», г. Москва, в своем положительном заключении, подписанном Кочетковой Ириной Андреевной, кандидатом физико-математических наук, доц., доцентом кафедры прикладной информатики и теории вероятностей, утвержденном Костиным Андреем Александровичем, доктором медицинских наук, профессором, указала, что диссертация «Исследование моделей трафика для сетей связи пятого поколения и разработка методов его обслуживания с использованием

БПЛА» является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена научная задача исследования и разработки решений по созданию сетей связи на основе совместного использования технологий БПЛА, программно-конфигурируемых сетей и граничных вычислений, имеющая значение для отрасли цифрового развития и связи, а также специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций. Полученные автором результаты отличаются научной новизной и практической значимостью. Результаты апробированы на значимых российских и зарубежных конференциях. Основные научные результаты диссертации достаточно полно опубликованы в ведущих российских и зарубежных изданиях. Название работы полностью отражает ее содержание, содержание диссертации соответствует пунктам 4, 7, 10, 11, 12 специальности 2.2.1. Системы, сети и устройства телекоммуникаций. Автореферат адекватно отражает содержание диссертационной работы и ее основные результаты. На основании изложенного считаем, что диссертация Алзагира Аббаса Али Хасана «Исследование моделей трафика для сетей связи пятого поколения и разработка методов его обслуживания с использованием БПЛА» соответствует критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 (в редакции от 26.01.2023 года), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций, а ее автор, Алзагир Аббас Али Хасан, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Соискатель имеет 12 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 12, из них в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК, – 3, в том числе 3 по искомой специальности, а также: 5 работ в изданиях, индексируемых в международных базах цитирования; 4 статьи в других научных журналах, сборниках научных статей, трудов и материалах конференций. Из них 1 работа опубликована соискателем без соавторства. Общий объем авторского вклада в работы (без результатов интеллектуальной собственности) составляет

8,08 печ.л. из общего количества 12,25 печ.л. Диссертация не содержит недостоверных сведений об опубликованных соискателем ученой степени работах.

Наиболее значительные научные работы по теме диссертации.

Публикации в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Алзагир, А.А. Исследование качества обслуживания в сетях 5G и последующих поколений / А.А. Алзагир, А.И. Парамонов, А.Е. Кучерявый // Электросвязь. – 2022. – № 6. – С. 2-7.

2. Алзагир А.А. Алгоритмы кластеризации для БПЛА в сетях пятого и последующих поколений / А.А. Алзагир, В.Н. Коваленко, А.С. Бородин [и др.] // Электросвязь. – 2022. – № 10. – С. 9-15.

3. Alzaghir A., Flying Fog Mobile Edge Computing Based on UAV-Assisted for IoT Nodes in Smart Agriculture / A. Alzaghir // Proceedings of Tele-communication Universities. – 2022. – Vol. 8, No. 4. – P. 82-88.

Публикации в изданиях, индексируемых в МБЦ:

3. Alzaghir, A. Estimation of Quality of Service in Tactile Internet, Augmented Reality and Internet of Things / A. Alzaghir, A. Paramonov, A. Koucheryav // Lecture Notes in Computer Science. – 2022. – Vol. 13158 LNCS. – P. 35-45.

4. Alzaghir, A. Clustering algorithms for UAV placement in 5G and Beyond Networks / V. Kovalenko, A. Alzaghir, A. Volkov [et al.] // 12th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops, ICUMT 2020, Brno, 05–07 октября 2020 года. – Brno: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2020. – P. 301-307.

5. Alzaghir A. Multi Task Multi-UAV Computation Offloading Enabled Mobile Edge Computing Systems/A. Alzaghir, A. Koucheryavy // Communications in Computer and Information Science. – 2022. – Vol. 1552. – P. 3-17.

6. Alzaghir A. Predicting Energy Consumption for UAV-Enabled MEC Using Machine Learning Algorithm / A. R. Abdellah, A. Alzaghir, A. Koucheryav // Lecture Notes in Computer Science. – 2022. – Vol. 13158 LNCS. – P. 297-309.

7. Alzahir A. Deep Learning Approach for Predicting Energy Consumption of Drones Based on MEC / A. R. Abdellah, A. Alzahir, A. Koucheryav // Lecture Notes in Computer Science. – 2022. – Vol. 13158 LNCS. – P. 284-296.

Публикации в других изданиях:

8. Алзагир А.А. Построение сети БПЛА с поддержкой SDN/NFV технологий / В.Н. Коваленко, А.А. Алзагир, А.С.А. Мутханна // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2020. – Т. 8, № 3. – С. 71-85.

9. Алзагир А.А.Х. Применение беспилотных летательных аппаратов в сетях 5G / А.А.Х. Алзагир, А.С.А. Мутханна // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2020). IX Международная научно-техническая и научно-методическая конференция : сб. науч. ст. в 4-х т. СПб.: СПбГУТ, 2020. – Т. 1. – С. 49-53.

10. Алзагир А.А. Разработка методов применения БПЛА для обеспечения устойчивости сетей связи 2030 / М.И. Филимонова, А.А. Алзагир, А.С.А. Мутханна // СпбНТОРЭС: труды ежегодной НТК. – 2020. – № 1(75). – С. 164-165.

11. Алзагир А.А. Разгрузка трафика при интеграции БПЛА и граничных вычислительных систем / А.А. Алзагир, А.Е. Кучерявый // СпбНТОРЭС: труды ежегодной НТК. – 2022. – № 1 (77). – С. 115-116.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы: официального оппонента Колбанёва М.О.; официального оппонента Степанова М.С.; ведущей организации (РУДН); Бурановой М.А., д.т.н., доц., профессора кафедры информационной безопасности Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики; Комарова М.М., к.т.н., профессора департамента бизнес-информатики Высшей школы бизнеса Национального исследовательского университета Высшей школы экономики; Самойлова А. Г., д.т.н., проф., профессора кафедры радиотехники и радиосистем Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых; Вишневого В.М., д.т.н., проф., заведующего лабораторией 69 Института проблем управления Российской академии наук;

Никульского И.Е., д.т.н., с.н.с., главного специалиста, заместителя главного конструктора ПАО «ЦНО Ленинец»; Ковтуненко А.С., к.т.н., доц., доцента кафедры информатики Уфимского университета науки и технологий.

Все отзывы положительные, но есть критические замечания. На стр. 28-29 анализируется вариант использования БПЛА в качестве летающего беспроводного транзитного узла для базовых станций наземной сети. Такой вариант использования БПЛА потребует достаточно большого расхода энергии. Поэтому, представляется, что речь должна идти об использовании привязных БПЛА. Стр.43. Утверждение о том, что число контроллеров зависит от масштаба сети и поступающего трафика, должно было бы быть дополнено зависимостью от требований к надежности сети. В третьей главе исследуется модель G/G/1/k. При этом исследование коэффициента Херста при значениях интенсивности нагрузки более 1 Эрл вряд ли информативно. Требуется дополнительное пояснение выбора значений весовых коэффициентов в таблице 4.1 (стр. 100). В главе 1, посвященной анализу использования БПЛА в инфокоммуникациях, фокус делается на преимуществах таких решений. Тем не менее, в данной области, безусловно, присутствует ряд рисков, в том числе, связанных с безопасностью. Вопрос защиты конвергентных сетей связи остается одной из насущных проблем, и его не следует обходить вниманием. В описании аналитической модели имеется довольно много неточностей, например: в обозначениях Кендалла A — это распределение интервала времени между поступлением заявок; не определена модель входных потоков для трех типов трафика, указаны только их интенсивности, и то только на схеме, так что можно только догадываться о характере поступления пакетов. То же самое справедливо и для времени обслуживания — характер распределения не указан. В разделе 3.3.4, где приводится сравнение результатов аналитического и имитационного моделирования, не указаны значения входных параметров, использованных для расчета. Задан только размер буфера. Необходимо указать, на основании чего выбирались исходные данные для аналитического расчета. Достаточно подробный анализ использования БПЛА в разделах 1.2 для сенсорных сетей и 1.3

для сетей Интернета вещей следовало бы дополнить таким значимым случаем, как использование БПЛА в качестве временного головного узла кластера наземной сети. Стр. 62. Строго говоря, на объем трафика влияет не только время суток, но и сезонность. Требуется пояснение объединения трафика человек-человек и тактильного интернета (стр. 70). На рис. 3–6 представлены вероятности потери и задержки доставки пакетов «с буфером размерами  $n = 2$  и  $10$ ». При этом не ясно, в каких единицах измеряется размер буфера и почему были выбраны именно эти два значения. В описании третьей главы автореферата указано, что «Потоки трафика TI и AR обладают свойствами самоподобных потоков», однако, обоснования не представлено. Не ясно рассматривались ли вопросы энергетического обеспечения БПЛА и связанные с этим временные возможности функционирования БПЛА как элемента интегрированной сети связи. Непонятно как определялись значения весовых коэффициентов при оценке ресурса конкретных параметров БПЛА. Из текста автореферата не совсем понятно, почему при одинаковых вычислительных возможностях сервера БС и БПЛА (рис. 12) задержка в случае применения летающих вычислений существенно больше. Судя по содержанию автореферата, автор работы уделил повышенное внимание анализу времени доставки и вероятности потерь пакетов информации в программно-конфигурируемых сетях с использованием БПЛА, в то время как вариация задержки пакетов проанализирована им не в полной мере. В работе не рассмотрено влияние характеристик надежности сетевого оборудования на показатели качества обслуживания передаваемого трафика. На рис. 3–6 зависимости, показанные кривыми разных цветов и типов линий, следовало бы обозначить в явном виде, как на рис. 11–15. Из таблиц 3 и 4, а также рисунков 8 и 9 осталось непонятно, почему задача моделирования траекторий БПЛА анализировалась на плоскости, а не в пространстве.

Выбор оппонентов и ведущей организации обосновывается компетентностью и значимой позицией в научных кругах крупнейших специалистов в области сетей и систем связи, в том числе в областях, связанных с

профилем диссертационной работы, а также значительным числом публикаций в рецензируемых научных изданиях по тематике диссертационного исследования.

Так официальный опонент д.т.н., профессор Колбанёв М. О. является специалистом в области моделирования сетей связи, интеллектуализации информационных систем, что подтверждается рядом публикаций в ведущих научных изданиях. Степанов М. С., к.т.н., специалист в области исследований по тематикам, связанным с моделированием сетевых процессов в информационных системах, а также по вопросам передачи данных в системах, чему посвящены его публикации в ведущих международных и российских периодических научных изданиях.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования “Российский университет дружбы народов” (РУДН) является ведущей организацией в области исследований, связанных с моделированием сетей связи и сетевых процессов.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований, что поставленная цель достигнута, в частности: разработаны** модели и методы создания сетей на основе совместного использования технологий БПЛА, программно-конфигурируемых сетей и граничных вычислений для обеспечения требований к качеству обслуживания в сетях связи пятого поколения; **предложена** оригинальная модель трафика для агрегированного трафика Интернета Вещей, Тактильного интернета и дополненной реальности и исследованы характеристики такой модели; **доказано** что вероятность потерь пакетов для трафика AR больше, чем для трафика IoT и меньше, чем для трафика TI, а входящий агрегированный поток трафика IoT, TI и AR является самоподобным с параметром Херста  $H=0,7$ ; **введены** новые подходы к построению кластерных сетей связи с использованием БПЛА и технологий программно-конфигурируемых сетей.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что: доказано**, что с использованием разработанного алгоритма выгрузки трафика на основе динамического программирования, использующего расстояние Хэмминга



в качестве критерия для завершения своей работы, можно определить размер группы БПЛА, при котором задержка для выгрузки трафика с наземной сети на группу БПЛА будет меньше, чем в случае использования БПЛА как ретранслятора для граничного/облачного сервера; **применительно к проблематике диссертации результативно использованы** методы теории телетрафика и теории массового обслуживания, теории вероятностей, математической статистики; **изложены** идеи построения кластерной сети с использованием БПЛА и технологий программно-конфигурируемых сетей; **раскрыты** особенности методов выгрузки трафика с наземной сети на БПЛА; **изучены** связи выгрузки трафика с наземной сети на БПЛА и значений задержки; **проведена модернизация** существующих математических моделей теории телетрафика с учетом поступления на сети связи гетерогенного трафика, в том числе дополненной реальности.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что: разработаны и внедрены** в рамках образовательного процесса при чтении лекций, проведении практических и лабораторных работ в СПбГУТ по курсам «Интернет Вещей и самоорганизующиеся сети», «Современные проблемы науки в области инфокоммуникаций» и «Сети связи для цифровой экономики»; **определены** рациональные координаты для размещения контроллеров программно-конфигурируемой сети на базе БПЛА, отличающиеся от исходных на величину до 100 м в квадрате 1 на 1 км; **созданы** модель и метод построения кластерной сети с использованием БПЛА и технологий программно-конфигурируемых сетей. При этом элементы программно-конфигурируемых сетей полностью реализованы на БПЛА: уровень передачи данных реализован на группах БПЛА, объединенных в кластеры и выполняющих функции коммутаторов сети SDN, а уровень управления реализован на отдельных привязных БПЛА, выполняющих функции контроллеров сети SDN; **представлены** предложения по выгрузке трафика с наземной сети на БПЛА, при использовании которых выгрузка может быть осуществлена как непосредственно на БПЛА, так и на БПЛА, оборудованный

ретранслятором для передачи информации на граничный и/или облачный сервер наземной сети.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:** для **экспериментальных работ** результаты получены с использованием широко известных систем имитационного моделирования; **теория** построена на известных моделях и методах теории телетрафика и теории массового обслуживания, теории вероятностей, математической статистики; **идея базируется** на анализе достижений науки в области сетей связи пятого поколения; **использованы** сравнение авторских данных и данных, полученных ранее по рассматриваемой тематике; **установлено** качественное совпадение авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике; **использованы** современные методики сбора и обработки исходной информации.

Личный вклад соискателя состоит в том, что все результаты диссертационной работы получены автором самостоятельно. В работах, опубликованных в соавторстве, соискателю принадлежит основная роль при постановке и решении задач, а также обобщении полученных результатов.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания: Указана характеристика потоков – интенсивность. Какие ещё характеристики имеют Ваши три потока? В каком пакете моделирования была сделана имитационная модель? Какой учитывался поток – двунаправленный или в одну сторону? В автореферате и докладе мало представлено численных показателей.

Соискатель Алзагир А. А. Х. в ходе заседания ответил на задаваемые ему вопросы, согласился с замечаниями и привел собственную аргументацию.

Диссертационный совет установил, что диссертация «Исследование моделей трафика для сетей связи пятого поколения и разработка методов его обслуживания с использованием БПЛА» является законченной научно-квалификационной работой и соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а

также пунктам 4, 7, 10, 11 и 12 паспорта научной специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

На заседании 14 июня 2023 года диссертационный совет принял решение присудить Алзагир А. А. Х. ученую степень кандидата технических наук за решение научной задачи исследования и разработки решений по созданию сетей связи на основе совместного использования технологий БПЛА, программно-конфигурируемых сетей и граничных вычислений, имеющей значение для отрасли цифрового развития и связи, а также специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 13 человек, из них 6 докторов наук по научной специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 19 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 13, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель диссертационного совета,  
доктор технических наук, профессор



A handwritten signature in blue ink, partially obscured by an orange redaction box.

Гоголь Александр Александрович

И.о. ученого секретаря диссертационного совета,  
доктор технических наук, доцент

A large orange rectangular redaction box covering the signature of the Acting Secretary of the Dissertation Council.

Парамонов Александр Иванович

16 июня 2023 года