

## ОТЗЫВ

### официального оппонента на диссертацию

Алзагира Аббаса Али Хасана «Исследование моделей трафика для сетей связи пятого поколения и разработка методов его обслуживания с использованием БПЛА», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15 – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций».

#### **Актуальность темы диссертации.**

Развитие сетей связи продолжается в направлении создания гетерогенных, а затем и интегрированных сетей. Основополагающую роль в этом направлении играют сети связи пятого и последующих поколений, в которых впервые в полном объеме реализована идея гетерогенных сетей. При этом зачастую создание гетерогенных сетей осуществляется в достаточно нетривиальных направлениях. Одним из таких направлений являются исследования в области совместного использования ресурсов наземных и летающих сетей, в первую очередь – беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Тема диссертационной работы, направленная на исследование моделей трафика для сетей связи пятого поколения и разработку методов его обслуживания с использованием БПЛА, безусловно, актуальна.

#### **Новизна научных положений, выводов и рекомендаций. Теоретическая и практическая ценность диссертационной работы.**

Диссертация изложена на 147 страницах и включает в себя введение, четыре главы, заключение, список литературы на 172 наименования и одно приложение.

Научная новизна диссертационной работы Алзагира Аббаса Али Хасана определяется уже самим предметом исследования – совместным использованием технологий БПЛА, программно-конфигурируемых сетей и граничных вычислений.

Конкретные результаты, обладающие научной новизной, состоят в следующем:

- В отличие от известных моделей трафика была предложена модель, в которой к трафику Интернета Вещей и трафику Тактильного Интернета добавляется трафик дополненной реальности. При этом было установлено, 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  $H=0,7$ .

- Разработан метод построения сети с использованием БПЛА, в котором элементы программно-конфигурируемых сетей полностью реализованы на БПЛА, отличающийся от известных тем, что 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. При этом каждый из контроллеров взаимодействует с головным узлом своего кластера БПЛА, предусмотрено также взаимодействие контроллеров между собой.

- Разработан алгоритм кластеризации для группы БПЛА на основе метода k-средних, позволивший найти рациональные координаты для размещения контроллеров, отличающиеся от исходных на величину до 100м в квадрате 1км на 1км.

- Разработан метод выгрузки трафика с наземной сети на БПЛА, отличающийся от известных тем, что 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.

- Разработан алгоритм выгрузки трафика для предложенного метода, основанный на алгоритме динамического программирования, использующего расстояние Хэмминга в качестве критерия для завершения своей работы и определены значения задержки для выбора размера 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.

При этом теоретическая значимость диссертационной работы состоит, прежде всего, в применении в разработке метода построения кластерной сети с использованием БПЛА и технологий программно-конфигурируемых сетей, когда 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. Кроме того, весьма важным представляется разработанный метод выгрузки трафика с наземной сети на БПЛА, при использовании которого 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. Самостоятельную теоретическую значимость имеет определение самоподобного характера потока агрегированного трафика IoT, TI и AR и значения параметра Херста для него.

Практическая значимость диссертационной работы состоит в возможности использования результатов работы для планирования сетей связи, а также в процессе обучения студентов и аспирантов по профильным специальностям.

Полученные в диссертационной работе результаты использованы в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургском государственном университете телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича» (СПбГУТ) при чтении лекций и проведении практических занятий по курсам «Интернет Вещей и самоорганизующиеся сети», «Современные проблемы науки в области инфокоммуникаций» и «Сети связи для цифровой экономики».

**Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и результатов, сформулированных в диссертационной работе.**

Достоверность и степень обоснованности научных положений, выводов и результатов диссертационной работы подтверждается корректным применением математического аппарата, результатами имитационного моделирования, а также обсуждением результатов диссертационной работы на конференциях и семинарах и публикацией основных результатов диссертации в ведущих российских и зарубежных журналах.

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих международных и российских конференциях и семинарах: Международной научно-технической и научно-методической конференции DCCN (International conference on Distributed Computer and Communication Networks: Control, Computation, Communications) 2021 года, NEW2AN (International Conference on Next Generation Wired/Wireless Networking) 2021 года, ICUMT(The International Congress On Ultra Modern Telecommunications And Control Systems) 2020 года, СПбНТОРЭС (75-я и 77-я научно-техническая конференция Санкт-Петербургского НТОРЭС им. А.С. Попова, посвященная Дню Радио) в 2020 и 2022 годах, международной конференции АПИНО (Актуальные Проблемы Инфотелекоммуникаций в Науке и Образовании) 2020 года.

Всего по теме диссертации опубликовано 12 работ, из них 3 статьи в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень изданий, рекомендуемых ВАК Министерства высшего образования и науки Российской Федерации, 5 статей в рецензируемых изданиях, входящих в международные базы данных SCOPUS и WoS, 4 статьи в журналах и сборниках конференций, включенных в РИНЦ.

## **Замечания по диссертационной работе.**

По диссертации имеются следующие замечания:

1. 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.
2. Стр.62. Строго говоря, на объем трафика влияет не только время суток, но и сезонность.
3. Требуется пояснение объединения трафика человек-человек и тактильного интернета (стр.70).
4. По тексту диссертации встречаются редакционные неточности в использовании русского языка, например, "ТІ будет использовать традиционный проводной интернет, мобильный интернет и ІоТ в качестве сквозной транспортной инфраструктуры. Кроме того, можно предсказать, что ТІ открывает новую перспективу для взаимодействия человека с машиной благодаря ультрамалой задержке при построении кооперативных систем в реальном времени" (стр.56).

## **Выводы.**

Отмеченные недостатки не снижают ценности результатов диссертации для теории и практики. Диссертационная работа Алзагира Аббаса Али Хасана «Исследование моделей трафика для сетей связи пятого поколения и разработка методов его обслуживания с использованием БПЛА» является законченной научно-квалификационной работой. Диссертация соответствует следующим пунктам паспорта специальности 2.2.15 — Системы, сети и устройства телекоммуникаций: 4, 7, 10, 11 и 12.

В диссертации решена научная задача разработки методов прогнозирования характеристик трафика для сетей 5G на основе технологий искусственного интеллекта, имеющая значение для отрасли цифрового развития и связи.

Диссертация отвечает критериям, изложенным в п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 в редакции от 18.03.2023. Автореферат полностью отражает основное содержание диссертационной работы.

Диссертационная работа «Исследование моделей трафика для сетей связи пятого поколения и разработка методов его обслуживания с использованием БПЛА» заслуживает положительной оценки, а ее автор – Алзагира Аббаса Али Хасана - присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

24 мая 2023 г.

Официальный оппонент,  
профессор кафедры «Информационных систем и технологий» ФГБОУ ВПО  
«Санкт-Петербургский государственный экономический университет»,

д.т.н., профессор



М.О. Колбанёв



*Подпись заверяю:  
Ведущий специалист по персоналу  
[Redacted] В. П. Петушина*

Адрес: 191023, г. Санкт-Петербург, наб. кан. Грибоедова, д. 30-32, литер А.  
Тел. (812) 310-46-32, e-mail: dept.ud@unecon.ru