

## **ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**

**Кучерявого Андрея Евгеньевича**

на диссертацию Мохамеда Али Рефае Абделлаха «Прогнозирование характеристик трафика сетей 5G на основе технологий искусственного интеллекта», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций

**Актуальность темы диссертации.**

Сети связи представляют собой чрезвычайно сложное и очень наукоемкое взаимоувязанное для всего земного шара сооружение. Сложность и наукоемкость делают сети связи, в особенности сети связи пятого и шестого поколений, исключительно подходящим полигоном для внедрения технологий искусственного интеллекта. Кроме всего прочего, процессы обслуживания трафика в сетях связи происходят, как правило, в реальном времени, а задержки распространения сигнала могут не превышать 1мс. Потенциальное число пользователей за счет технологий Интернета Вещей на порядки больше, чем число пользователей, например, банков. Эти две характеристики сетей связи пятого поколения, сверх высокая плотность и ультра малые задержки делают внедрение технологий искусственного интеллекта в современных сетях и сетях будущего необходимостью. При этом основные задачи для сетей связи пятого и последующих поколений состоят в традиционных для любых сетей связи задачах распределения ресурсов и прогнозировании трафика. Таким образом, тема диссертационного исследования Мохамеда Али Рефае Абделлаха несомненно актуальна.

В диссертационной работе получены следующие новые научные результаты:

- Разработанный метод прогнозирования потерь пакетов в сетях VANET на основе глубокого обучения и многослойной нейронной сети в условиях, когда данные искажены гауссовским шумом и случайными выбросами при

использовании робастной справедливой оценки и робастной оценки Коши позволяет уменьшить среднеквадратичную ошибку более, чем в пять раз, а абсолютную ошибку примерно в 2 раза по сравнению с использованием метода наименьших квадратов.

- Разработанный метод прогнозирования задержки и потерь в сетях Интернета вещей и Тактильного Интернета на основе нелинейной рекуррентной авторегрессионной нейронной сети NARX дает наилучшие результаты при его обучении алгоритмом Левенберга-Марквардта, превосходя при этом алгоритм обучения Флетчера-Ривса и устойчивый алгоритм обучения по значениям среднеквадратичной ошибки и абсолютной ошибки на порядок и более как при прогнозировании на один шаг, так и при прогнозировании на несколько шагов.

- Разработанный метод прогнозирования пропускной способности сетей 5G/6G для трафика Интернета Вещей на основе алгоритма долговременной краткосрочной памяти (LSTM) обеспечивает результаты прогноза с приемлемой для практики точностью при 500 скрытых нейронах.

Практическая значимость диссертационной работы состоит в том, что полученные новые научные результаты могут быть использованы при планировании сетей связи для Интернета Вещей и Тактильного Интернета, а также при обучении в университетах.

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”, “Современные проблемы науки в области инфокоммуникаций”, “Машинное и глубокое обучение в телекоммуникациях” и “Искусственный интеллект в сетях и системах связи”.

Достоверность основных результатов диссертации подтверждается корректным применением математического аппарата, имитационным моделированием, обсуждением результатов диссертационной работы на

международных конференциях и семинарах, публикацией основных результатов диссертации в ведущих рецензируемых журналах.

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих международных и российских конференциях и семинарах: конференциях NEW2AN 2019 Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems, август 2019, С.-Петербург NEW2AN 2020 Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems, август 2020, С.-Петербург, NEW2AN 2021 Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems, август 2021, С.-Петербург, DCCN 2019 (International conference on Distributed Computer and Communication Networks: Control, Computation, Communications), сентябрь 2019, Москва, DCCN 2020 (International conference on Distributed Computer and Communication Networks: Control, Computation, Communications), сентябрь 2020, Москва, на 11th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT), Dublin, Ireland, 2019, 12th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT), Brno, Czech Republic, на 75-й конференции СПбНТОРЭС им. А.С. Попова (20-24 апреля 2020 года), X Международной научно-технической и научно-методической конференции “Актуальные проблемы инфокоммуникаций в науке и образовании” АПИНО 2021, СПбГУТ, семинарах кафедры сетей связи и передачи данных СПбГУТ.

Результаты диссертационного исследования сформированы технически грамотным языком, стиль изложения четок и ясен.

Всего по теме диссертации опубликовано 18 работ, из них 3 статьи в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень изданий, рекомендуемых ВАК Министерства высшего образования и науки Российской Федерации, 12 статей в рецензируемых изданиях, входящих в международные базы данных SCOPUS и WoS (1 статья в Q1 и 4 статьи в Q2), 3 статьи в журналах и сборниках конференций, включенных в РИНЦ.

Содержание диссертации соответствует пп. 3,11,12 и 14 паспорта специальности 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Считаю, что диссертационная работа “Прогнозирование характеристик трафика сетей 5G на основе технологий искусственного интеллекта” соответствует требованиям ВАК к кандидатским диссертациям, а Мохаммед Али Рефае Абделлах заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Научный руководитель,  
заведующий кафедрой сетей связи и передачи данных СПбГУТ,  
доктор технических наук, профессор

Андрей Евгеньевич Кучерявый

18 марта 2022 года

Организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича» (СПбГУТ)

Юридический адрес: наб. р. Мойки, д. 61, литер A, Санкт-Петербург, 191186

Почтовый адрес: пр. Большевиков, д. 22, корп. 1, Санкт-Петербург, 193232

Тел.: (812) 3263156, факс (812) 3263159, e-mail: rector@sut.ru, web-сайт: www.sut.ru

Подпись  
ЗАПИСЬ  
главный специалист

И.В. Руденков

18.03.2022