

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

Степанова Михаила Сергеевича на диссертационную работу  
Мохамед Али Рефае Абделлах «Прогнозирование характеристик трафика  
для сетей 5G на основе технологий искусственного интеллекта»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 2.2.15 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций

### **Актуальность темы диссертации**

Оптимальное распределение ресурсов сети является одним из главных условий её эффективной работы. В данном направлении сегодня возникают все новые задачи, обусловленные активным переходом к системам связи будущего, в первую очередь, мобильным сетям пятого поколения. Гетерогенность, присущая таким сетям, подразумевает, что каждому типу трафика соответствует свой способ прогнозирования. В этих условиях планирование ресурса становится комплексной задачей. Решить её можно с использованием средств искусственного интеллекта.

Диссертационная работа Мохамед Али Рефае Абделлах посвящена применению машинного обучения и глубокого обучения для прогнозирования пропускной способности сетей последующих поколений. С учетом отмеченных выше фактов данная тема является актуальной.

### **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертационной работе**

Достоверность основных результатов диссертации подтверждается успешным применением математического аппарата, а также имитационным моделированием.

### **Апробация результатов исследования.**

Основные результаты диссертационного исследования 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 11<sup>th</sup> 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.

### **Научная новизна результатов диссертационной работы**

Полученным результатам присуща научная новизна, требуемая для диссертаций, представляемых к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук. Эта научная новизна выражена в следующем:

1. Предложено использовать многослойную нейронную сеть глубокого обучения и робастную справедливую оценку и робастную оценку Коши в условиях, когда данные искажены гауссовским шумом и случайными выбросами, для прогнозирования потерь пакетов в сетях VANET.
2. Предложено использовать машинное обучение на основе нелинейной рекуррентной авторегрессионной нейронной сети NARX для прогнозирования задержек и потерь в сетях Интернета Вещей и Тактильного Интернета. Доказано, что наилучшие результаты при обучении нейронной сети достигаются при использовании алгоритма Левенберга-Марквардта.
3. Предложено использовать глубокое обучение и алгоритм долговременной краткосрочной памяти (LSTM) для прогнозирования пропускной способности сетей 5G для трафика Интернета Вещей. Это позволяет обеспечить результаты прогноза с приемлемой для практики точностью при 500 скрытых нейронах.

### **Теоретическая и практическая ценность работы**

Теоретическая значимость диссертационной работы заключается в использовании робастных оценок для прогнозирования потерь пакетов в условиях сети VANET, в случае, когда данные искажены гауссовским шумом. Так же, предложено использовать глубокое обучение и алгоритм LSTM для прогнозирования пропускной способности сетей 5G для передачи трафика Интернета Вещей.

Практическая значимость диссертационной работы состоит в возможности использования полученных результатах при планировании сетевой инфраструктуры Интернета Вещей, сетей VANET и мобильных сетей 5G, а также в учебном процессе.

### **Публикации по теме диссертации**

Основные результаты по теме диссертации изложены в 18 печатных работах, из которых 3 опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК, 12 - в периодических научных журналах, индексируемых Scopus, 3 – в журналах, включенных в РИНЦ.

## **Характеристика содержания диссертационной работы**

Диссертация представлена в виде рукописи и состоит из содержания, введения, 4 глав, заключения, списка сокращений, списка литературы и приложения. Общий объем работы – 146 страниц, Работа содержит 51 рисунок и 6 таблиц. Список литературы включает 83 источника. Все основные результаты диссертационной работы получены автором самостоятельно.

Материал диссертации изложен в логической последовательности, отвечающей требованиям проведения научных исследований, имеет целостность и внутреннее единство содержания. Текстовый материал и иллюстрации оформлены аккуратно, в соответствии с требованиями ГОСТ.

Выводы обоснованы и достаточно полно отражают результаты проведенных исследований.

## **Замечания по тексту диссертационной работы**

1. Перечень положений, выносимых на защиту, следовало оформить не в виде списка результатов (метод, методика и т.д.), а виде утверждений (построенная модель позволяет/улучшает и т.д.), которые можно обосновать или обсудить.
2. Теоретический обзор по автомобильным сетям VANET следовало сделать более полным. В частности, из беспроводных технологий, которые могут использоваться в качестве основы для сети VANET, в разделе 2.3 диссертации, упоминается только Wi-Fi (IEEE 802.11p). При этом не рассматриваются технологии IEEE 802.15.4 или мобильные сети, а также не обосновывается выбор именно Wi-Fi для проведения моделирования.
3. Название диссертации не совсем полно отображает область исследований и результаты работы, так как в нем упомянута только технология 5G. При этом, одна из глав полностью посвящена автомобильным сетям VANET на основе технологии IEEE 802.11p.
4. В работе присутствует ряд опечаток и стилистических неточностей. Некоторые иллюстрации требуют переработки в связи с невысоким качеством изображения (например, Рис. 2.4, 2.6, 3.2 и т.д.). Таблица 4.1 полностью англоязычная, и на нее отсутствует ссылка в тексте диссертации. Операторы языка программирования могут подразумевать только англоязычную запись, но в таком случае необходимо дополнить таблицу отдельным столбцом с переводом.

## **Заключение**

Приведенные замечания не снижают научную ценность результатов диссертационной работы и не влияют на ее положительную оценку. Диссертация Мохамед Али Рефае Абделлах «Прогнозирование

характеристик трафика для сетей 5G на основе технологий искусственного интеллекта» является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена научная задача – разработаны и исследованы методы прогнозирования характеристик трафика VANET, Интернета Вещей и Тактильного Интернета в сетях связи 5G на основе применения машинного и глубокого обучения с использованием робастных оценок. Автореферат адекватно отражает основное содержание диссертационной работы.

Диссертационная работа Мохамед Али Рефае Абделлах «Прогнозирование характеристик трафика для сетей 5G на основе технологий искусственного интеллекта» соответствует пунктам 3,11,14 паспорта специальности Системы, сети и устройства телекоммуникаций и отвечает критериям, изложенным в п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842 (в ред. Постановления Правительства РФ от 21.04.2016 N 335), а ее автор – Мохамед Али Рефае Абделлах заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

«11» мая 2022 года

Официальный оппонент,

доцент кафедры «Сети связи и систем коммутации», МТУСИ

к.т.н.

М.С. Степанов

Подпись руки Степанова М.С. заверяю

Проректор по науке МТУСИ

д.т.н., профессор

Ю.Л. Леохин

Степанов Михаил Сергеевич, кандидат технических наук по специальности 2.2.15 – системы, сети и устройства телекоммуникаций, доцент кафедры «Сети связи и системы коммутации», Ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики». Адрес: 111024, г. Москва, Авиамоторная ул., 8а  
Тел.: (495) 957-77-31  
E-mail: mtuci@mtuci.ru