

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 21 июня 2023 г. № 8

О присуждении Аль-Свейти Малик А.М., гражданину Государства Палестина, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Исследование и разработка моделей и методов построения инфраструктуры сетей автономного транспорта с использованием технологий Искусственного Интеллекта» по специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций принята к защите 19 апреля 2023 года, протокол № 4 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 Аль-Свейти М.А.М., 10 мая 1994 года рождения, является аспирантом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича». В 2019 году соискатель окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича».

Диссертация выполнена на кафедре сетей связи и передачи данных федерального государственного бюджетного образовательного учреждения

высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича», Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации.

Научный руководитель – кандидат технических наук, Мутханна Аммар Салех Али, 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, доцент кафедры.

Оппоненты: 1. Татарникова Татьяна Михайловна, доктор технических наук, профессор, основное место работы: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», институт информационных технологий и программирования, директор института; 2. Кайсина Ирина Алексеевна, кандидат технических наук, доцент, основное место работы: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова», кафедра сетей связи и телекоммуникационных систем, доцент кафедры, дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук, г. Москва, в своем положительном заключении, подписанном Вишневым Владимиром Мироновичем, доктором технических наук, профессором, заслуженным деятелем науки РФ, заведующим лабораторией № 69, утвержденном Новиковым Дмитрием Александровичем, академиком РАН, доктором технических наук, профессором, директором, указала, что диссертационная работа Аль-Свейти Малика А.М. "Исследование и разработка моделей и методов построения инфраструктуры сетей автономного транспорта с использованием технологий Искусственного Интеллекта" является законченной научно-квалификационной работой. Диссертационная работа соответствует

пунктам 3, 11, 12 и 14 паспорта специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций. В диссертации решена научная задача, имеющая существенное значение для отрасли связи, а именно – разработаны модели и методы построения инфраструктуры сетей автономного транспорта с использованием технологий искусственного интеллекта. Диссертация отвечает критериям, изложенным в п. 9 «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842. Автореферат адекватно отражает основное содержание диссертационной работы. Несмотря на отмеченные выше замечания, диссертационная работа "Исследование и разработка моделей и методов построения инфраструктуры сетей автономного транспорта с использованием технологий Искусственного Интеллекта" оценивается положительно, а её автор, Аль-Свейти Малик А.М., заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Соискатель имеет 10 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 10, из них в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК, – 2, в том числе 2 по искомой специальности, а также: 2 работы в изданиях, индексируемых в международных базах цитирования; 6 статей в других научных журналах, сборниках научных статей, трудов и материалах конференций. Из них 1 работа опубликована соискателем без соавторства. Общий объём авторского вклада в работы (без результатов интеллектуальной собственности) составляет 7,65 печ.л. из общего количества 12,625 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. Аль-Свейти М. Методы машинного обучения для прогнозирования трафика в многоуровневой облачной архитектуре для сервисов автономных

транспортных средств / Аль-Свейти М. // Труды учебных заведений связи. 2022. Т. 8. № 4. С. 89-99.

2. Аль-Свейти М.А. Система обнаружения и распознавания движущихся биологических объектов для беспилотных автомобилей на основе интеллектуальных граничных вычислений / Аль-Свейти М.А., Мутханна А.С., Бородин А.С., Кучерявый А.Е. // Электросвязь. 2021. № 9. С. 35-41.

Публикации в изданиях, индексируемых в МБЦ:

3. Al-Sveiti M. Detection and recognition of moving biological objects for autonomous vehicles using intelligent edge computing/lorawan mesh system / Artem V., Al-Sveiti M., Muthanna A., Elgendy I.A., Kovtunenکو A.S. // Lecture Notes in Computer Science. 2020. Т. 12526 LNCS. С. 3-15.

4. Al-Sweity, M., Muthanna, A., Elgendy, I.A., Koucheryavy, A. (2021). Traffic Management Algorithm for V2X-Based Flying Fog System. In: Vishnevskiy, V.M., Samouylov, K.E., Kozyrev, D.V. (eds) Distributed Computer and Communication Networks: Control, Computation, Communications. DCCN 2021. Lecture Notes in Computer Science, vol 13144. Springer, Cham.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы: официального оппонента Татарниковой Т. М.; официального оппонента Кайсиной И.А.; ведущей организации ФГБУН ИПУ РАН; Ковтуненко А.С., к.т.н., доц., доцента кафедры информатики Уфимского университета науки и технологий; Комарова М.М., к.т.н., профессора департамента бизнес-информатики Национального исследовательского университета "Высшая школа экономики"; Никульского И.В. д.т.н., с.н.с., главного специалиста, заместителя главного конструктора ПАО "ЦНПО Ленинец"; Бурановой М.А., д.т.н., доц., профессора кафедры информационной безопасности Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики; Самуйлова К.Е., д.т.н., проф., заведующего кафедрой прикладной информатики и теории вероятностей Российского университета дружбы народов; Васильева А.Б., к.т.н., заместителя генерального директора ПАО "ГИПРОСВЯЗЬ".

Все отзывы положительные, но имеются критические замечания. В работе не приведено достаточно веского обоснования выбору применяемых им типов искусственных нейронных сетей (ИНС). Следовало бы произвести аналитический обзор и сравнение численных характеристик различных типов ИНС. Это позволило бы сделать выбор более убедительным. При моделировании МЕС в главе 2 автор применяет модель системы массового обслуживания  $M/M/1/k$ , но не приводит достаточных обоснований того, насколько адекватно эта модель представляет реальную систему. Это снижает уверенность в достоверности полученных результатов. Пояснения, приведенные к формуле (2.14) не корректны. Величина, обозначенная символом  $\mu$ , вероятно, должна называться интенсивность обслуживания, однако она названа иначе, без должных пояснений. Автор не приводит параметров используемых ИНС и сведений о вычислительной сложности процессов обучения и функционирования ИНС. Это затрудняет сравнение предлагаемых и известных методов. Наряду с устоявшимся термином «Туманные» вычисления (Fog computing) в работе часто используется слово «туман», которое при первом и последующих упоминаниях вводит читателя в заблуждение. В главе 2 при построении имитационной модели предполагается, что все передаваемые пакеты (сообщения) в сети автотранспорта однородны, из-за чего в модели используются очереди без приоритета. В случае практического применения сетей автономного транспорта намного более рационально использование системы приоритетов для обеспечения высоких показателей QoS при передаче наиболее важных сообщений. В главе 3 описан метод разгрузки трафика в местах с высокой интенсивностью движения, основанный на вычислениях «движущего летающего тумана». Его суть заключается в использовании летающих дронов, которые должны находиться на соответствующем участке дороги и обеспечивать необходимую вычислительную способность. Данный метод достаточно сложен в реализации (например, в отличие от использования вычислительных ресурсов на придорожных базовых станциях) и не может быть использован, например, в случае плохой погоды. В главе 4 приводится описание метода обнаружения и распознавания активности

биологических объектов за счет использования придорожной инфраструктуры. В частности, речь идет об использовании датчиков, данные с которых передаются на узлы MEC, после чего происходит обработка этих данных с использованием технологий машинного обучения. Однако по тексту не указано о каком типе или типах датчиков идет речь, что важно, поскольку далее на основе данных обозначенных датчиков происходит обучение искусственной нейронной сети. В пункте №1.3 «Перспективы использования технологий MEC в сетях 5G», автор рассматривает концепцию MEC без учета спецификации ETSI, в которой определена архитектура и функциональные возможности/требования данной архитектуры. В пункте 1.4. Автор указал, что «...связь в сетях 5G будет основана на высокочастотных сигналах в диапазоне миллиметровых волн – которые смогут выделять большую пропускную способность...» (ц.). Стоит выделить, что в первую очередь 5G охватывает не только диапазон миллиметровых волн. Миллиметровые волны рассматриваются в перспективном поколении 6G. В 5G кроме основных частот рассматривается больше суб-миллиметровый диапазон, что также подтверждается наличием оборудования на текущий момент. К примеру, работа в миллиметровом диапазоне сейчас возможна только в рамках лабораторных сегментах на дорогостоящем оборудовании. Не ясно, что такое «летающий туман» и чем он отличается от «движущегося тумана». Не ясно, почему предложенные модели оцениваются именно по способности уменьшить корень среднеквадратичной ошибки. В описании второй главы в автореферате описывается модель глубокого обучения, которая была построена на основе блоков LSTM и BiLSTM. Для создания обучающего набора данных была разработана модель системы автономных транспортных средств на базе системы имитационного моделирования AnyLogic. Однако описание разработанной модели представлено недостаточно полно. В описании третьей главы в автореферате и далее по тексту используется термин (словосочетание) «летающий туман», однако в автореферате не представлено ни аббревиатуры, ни определения для данного термина (технологии). В таблицах 1 и 2 автор приводит результаты моделирования для сетей автотранспорта, однако в автореферате остались

нераскрытыми условия дорожного движения, в которых работают транспортные средства. В описании результатов, полученных в третьей главе, также осталось неясным, каким образом характеристики прогнозируемого выходного сигнала на рисунке 5 соотносятся с физическим объектом – дорожным движением, и какие практические выводы могут быть сделаны. В предложенной автором модели мониторинга трафика услуг беспилотных автомобилей и обнаружения биологических объектов (выражения (20)–(23) на стр. 17 автореферата) не учитываются характеристики надежности датчиков. Следует отметить отсутствие четко обозначенной связи между алгоритмом работы нейронной сети и алгоритмом прогнозирования трафика. Помимо этого, на рисунке 8 приведены «процент правильных прогнозований», составляющий в начальный момент времени 0,4, и «результат плохого прогнозирования», равный в начальный момент времени 1,4. Если значение 0,4 следует понимать как 40%, то как интерпретировать 1,4 – не совсем понятно.

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 Татарникова Т.М. является специалистом по сетям интернета вещей, по обеспечению безопасности системы умного дома, по моделям управления хранения трафика данных. Кайсина И.А., к.т.н., доцент, занимается исследованиями по моделированию пропускной способности сети БПЛА при мультипоточковой передаче, применению самоорганизующихся сетей в сценариях «умного города».

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук имеет существенные достижения в области интернета вещей.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований, поставленная цель достигнута, задача решена, а**

именно: **разработаны** имитационная модель для проверки работоспособности алгоритма распознавания, используя рекуррентную нейронную сеть для определения движения людей и животных по шоссе; модель глубокого обучения с использованием алгоритма долговременной краткосрочной памяти (LSTM) и алгоритма двунаправленной долговременной краткосрочной памяти (BI-LSTM), для прогнозирования трафика в автономных транспортных средствах в многоуровневой облачной архитектуре; модель для прогнозирования скорости движения автотранспорта в зонах с интенсивным движением на основе «движущегося летающего тумана» и стековой двунаправленной модели долговременной краткосрочной памяти (SBILSTM); **предложены** метод прогнозирования трафика в автономных транспортных средствах с использованием нейронных сетей на основе BI-LSTM и LSTM, что повышает эффективность принятия решений и метод, использующий облачную структуру МЕС на основе нейронной сети, позволяющий повысить достоверность распознавания типов биологических объектов; **доказано** что, использование технологии МЕС и ячеистой беспроводной технологии LoRa для обнаружения и распознавания активности биологических объектов может помочь уменьшить количество аварий, вызванных животными или людьми на дороге и что в разработанная нейронная сеть может определить тип биологического объекта с вероятностью 99,8%; **введены** понятия машинного и глубокого обучения для прогнозирования трафика в сетях связи пятого и последующих поколений.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что: доказано** что, методы динамических туманных вычислений с использованием технологии мобильных граничных вычислений МЕС и сетью общедоступных датчиков с коммуникационными модулями LoRa Mesh для автономного управляемого транспорта, сводить к минимуму сетевых задержек и обеспечивает низкое энергопотребление системы; **применительно к проблематике диссертации результативно использованы** теория массового обслуживания для построения аналитической модели и методы машинного и глубокого обучения; **изложены** идеи об использовании методов машинного и глубокого обучения для



прогнозирования характеристик трафика в сетях связи пятого поколения; **раскрыты** особенности применения методов глубокого обучения с использованием алгоритма долговременной краткосрочной памяти LSTM, алгоритма двунаправленной LSTM (BI-LSTM) и стековой двунаправленной модели долговременной краткосрочной памяти (SBILSTM) в многоуровневых граничных сетях автотранспорта; **изучены** методы «туманных вычислений» в сетях 5G для решения задач автономного управляемого транспорта; **проведена модернизация** существующих моделей и методов прогнозирования характеристик трафика с учетом возможностей использования методов машинного и глубокого обучения.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что: разработаны и внедрены** метод глубокого обучения с использованием алгоритма долговременной краткосрочной памяти (LSTM) и алгоритма двунаправленной долговременной краткосрочной памяти (BI-LSTM); метод прогнозирования скорости движения автотранспорта в зонах с интенсивным движением на основе движущего летающего тумана и стековой двунаправленной модели долговременной краткосрочной памяти (SBILSTM); метод мониторинга трафика услуг автономных транспортных средств в сетях связи пятого и последующих поколений в рамках образовательного процесса при чтении лекций, проведении практических и лабораторных работ в СПбГУТ по дисциплине «Системы, сети и устройства телекоммуникации» и «Искусственный интеллект в сетях связи»; **определены** возможности применения предлагаемых моделей и методов на практике при внедрении технологий сетей автономного транспорта; **создана** методика прогнозирования трафика в многоуровневой облачной структуре в средах сетей автотранспорта и «движущегося тумана»; **представлены** результаты моделирования, которые позволяют продемонстрировать эффективность методов прогнозирования трафика в автономных транспортных средствах с многоуровневыми облачными вычислениями на основе BI-LSTM и LSTM.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:** для **экспериментальных работ** результаты получены с использованием широко известных систем моделирования Matlab и Python обеспечивающих необходимую достоверность экспериментальных исследований; **теория** приложения технологий искусственного интеллекта к построению инфраструктуры сетей автомобильного транспорта построена на известных методах машинного и глубокого обучения, математической статистики, теории вероятностей и имитационного моделирования, а также на основе рекомендаций и спецификации международных стандартизуемых организаций; **идея** приложения технологий искусственного интеллекта к построению инфраструктуры сетей автомобильного транспорта **базируется** на методах машинного и глубокого обучения с использованием группировки БПЛА для обеспечения «облачных» вычислений, позволяющих с высокой точностью решать задачи классификации и прогнозирования; **использованы** сравнения авторских данных и данных, полученных ранее по рассматриваемой тематике; **установлена** высокая корреляция авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике, в тех случаях, когда такое сравнение является обоснованным; **использованы** сравнение полученных в диссертационной работе результатов и данных, полученных ранее по рассматриваемой тематике.

Личный вклад соискателя состоит в том, что диссертационная работа написана автором самостоятельно. В работах, опубликованных в соавторстве, соискателю принадлежит основная роль при решении задач, а также обобщении полученных результатов.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

1. Что такое вероятность потери? Вы несколько раз употребляли этот термин. Так по какой причине теряются запросы?

2. Что более важно – точность прогнозирования или снизить потерю пакетов для ваших моделей и для первого положения, и для второго?

3. Есть мобильные граничные вычисления, а зачем еще мобильный туман? В чем разница между мобильными граничными вычислениями и мобильным туманом?

4. Что понимается под движущим летающим туманом? Что этот летающий туман движет?

5. Какие ограничения на скорость передвижения, на векторы тех объектов, которые движутся? И если есть, то граница на точность не влияет или влияет?

Соискатель Аль-Свейти М.А.М. в ходе заседания ответил на задаваемые ему вопросы и привел собственную аргументацию:

1. Потеря используется для того, чтобы мы узнали, как работает модель.

2. Для наших исследований мы прогнозировали точность прогнозирования, но я думаю, что оба показателя важны.

3. Отличия между MEC, т.е. mobile edge computing и FOC, примерно одинаковые. Но MEC используется только базовой станцией, а при использовании FOC можно подключить, например, (я про устройства говорю), wi-fi и базовые станции. Также для FOC – можно подключить больше устройств к сетям. Этим идет увеличение ресурсов.

4. Это имеется в виду дрон, т.е. дроны, на которые установлена сеть, и они обслуживают наземных пользователей.

5. Границы есть. Если правильно помню, это просто на слайдах не показано, где-то 35 км/ч. Границы влияют, потому что, например, олень при скорости 100 км/ч для автономного транспорта – это снижает вероятности распознавания и вероятности ошибки при передаче информации.

Диссертационный совет установил, что диссертация «Исследование и разработка моделей и методов построения инфраструктуры сетей автономного транспорта с использованием технологий Искусственного Интеллекта» является законченной научно-квалификационной работой и соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а также пунктам 3, 11, 12 и 14 паспорта научной специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

На заседании 21 июня 2023 года диссертационный совет принял решение присудить Аль-Свейти М.А.М. ученую степень кандидата технических наук за решение задачи, имеющей значение для отрасли сетей связи, а именно, разработки моделей и методов построения инфраструктуры сетей автотранспорта с использованием многоуровневых граничных вычислений и технологий искусственного интеллекта.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 13 человек, из них 7 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



Гоголь Александр Александрович

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



Парамонов Александр Иванович

23 июня 2023 года