

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 15 декабря 2021 г. № 14

О присуждении Волкову Артему Николаевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Исследование и разработка методов построения инфраструктуры и предоставления услуг сетей связи на основе технологий искусственного интеллекта» по специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций принята к защите 13 октября 2021 года, протокол № 8 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 Волков Артём Николаевич, 01.05.1995 года рождения, работает системным архитектором в Региональной инжиниринговой центре АО "Технопарк Санкт-Петербург".

В 2019 году соискатель окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. М.А. Бонч-Бруевича". С 01.09.2019 года по настоящее время является аспирантом Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. 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. 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. М.А. Бонч-Бруевича", кафедра сетей связи и передвчи данных, заведующий кафедрой.

Оппоненты: 1. Татарникова Татьяна Михайловна, доктор технических наук, доцент, основное место работы: Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова, кафедра информационных систем, профессор кафедры; 2. Буранова Марина Анатольевна, кандидат технических наук, доцент, основное место работы: Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, кафедра информационной безопасности, 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, канд. физ.-мат. наук, доцентом кафедры и Севастьяновым Леонидом Антоновичем, д-ом физ.-мат. наук, проф., профессором кафедры прикладной информатики и теории вероятностей, утвержденном Костиным Андреем Александровичем, д-ом мед. наук, проф., чл.-корр. РАН, первым проректором – проректором по научной работе, указала, что диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена научная задача разработки методов построения и предоставления услуг сетей связи на основе микросервисного подхода с использованием технологий искусственного интеллекта, имеющая значение для отрасли цифрового развития и связи, а также специальности 2.2.15. Полученные автором результаты отличаются

научной новизной и практической значимостью. Результаты апробированы на значимых российских и зарубежных конференциях.

Соискатель имеет 8 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 8, из них в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК – 4, в том числе 4 по искомой специальности, а также: 2 работы в изданиях, индексируемых в международных базах цитирования; 2 статьи 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 5,41 печ.л. из общего количества 7,67 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. Волков, А.Н. Идентификация трафика сервисов в сетях связи ИМТ-2020 и последующего поколения на основе метаданных потоков и алгоритмов машинного обучения / А.Н. Волков, А.Е. Кучерявый // Электросвязь. – 2020. – № 11. – С. 21-28.

2. Волков, А.Н. Искусственный интеллект в сетях связи пятого и последующих поколений / А.Н. Волков, А.С. Мутханна, А.Е. Кучерявый // Электросвязь. – 2021. – № 1. – С. 17-22.

3. Волков, А.Н. Структура распределенной динамической вычислительной системы туманных вычислений для микросервисов (DD-Fog) // Электросвязь. – 2021. – № 7. – С. 34-43.

4. Волков, А.Н. Метод прогнозирования нагрузки на контроллеры SDN с помощью технологий Искусственного Интеллекта / А.Н. Волков, А.Е. Кучерявый // Электросвязь. – 2021. – № 2. – С. 31-38.

Публикации в изданиях, индексируемых в МБЦ:

5. Artem, V., Ateya, A. A., Muthanna, A., & Koucheryavy, A. (2019). Novel AI-Based Scheme for Traffic Detection and Recognition in 5G Based Networks. In Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence

and Lecture Notes in Bioinformatics) (Vol. 11660 LNCS, pp. 243–255). Springer Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-030-30859-9_21.

6. Volkov A., Proshutinskiy K., Adam A.B.M., Ateya A.A., Muthanna A., Koucheryavy A. (2019) SDN Load Prediction Algorithm Based on Artificial Intelligence. In: Vishnevskiy V., Samouylov K., Kozyrev D. (eds) Distributed Computer and Communication Networks. DCCN 2019. Communications in Computer and Information Science, vol 1141. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-36625-4_3.

Публикации в других изданиях:

7. Волков А.Н., Мутханна А.С.А., Кучерявый А.Е. Сети связи пятого поколения: на пути к сетям 2030 // Информационные технологии и телекоммуникации. 2020. Том 8. № 2. С. 32–43. DOI 10.31854/2307-1303-2020-8-2-32-43.

8. Koucheryvy, A., Muthanna, A., Volkov, A.: AI/machine learning for ultra-reliable low-latency communication, ITU News Magazine, No.5, December 2020. pp. 62-65.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы: официального оппонента Татарниковой Т.М.; официального оппонента Бурановой М.А.; ведущей организации РУДН; Никульского И.Е., д.т.н., с.н.с., главного специалиста, заместителя главного конструктора ПАО "ЦНПО "Ленинец"; Молчанова Д.А., д.т.н., Ph.D, старшего научного сотрудника, доцента Tampere University (TAU), Финляндия; Самойлова А.Г., д.т.н., проф., заместителя директора по научной работе Института информационных технологий и радиоэлектроники Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых; Самуйлова К.Е., д.т.н., проф., директора института прикладной математики и телекоммуникаций, заведующего кафедрой прикладной информатики и теории вероятностей Российского университета дружбы народов; Васильева А.Б., к.т.н., заместителя генерального директора ПАО «Гипросвязь»; Бурдина А.В., д.т.н., заместителя генерального директора по научной работе и развитию АО "НПО ГОИ им. С.И. Вавилова"; Канаева А.К., д.т.н., проф., профессора кафедры и Логин Э.В., к.т.н., доцента кафедры

"Электрическая связь" Петербургского государственного университета путей сообщения; Комарова М.М., к.т.н., профессора департамента бизнес-информатики Высшей школы бизнеса НИУ "Высшая школа экономики".

Все отзывы положительные, но имеются следующие критические замечания. Стр. 89-90. Следовало бы более подробно обосновать выбор искусственной нейронной сети LSTM для решения поставленной задачи по мониторингу трафика. Неясно, исходя из каких соображений число эпох выбрано равным 40. На стр. 110 при анализе требуемых для регистрации Fog-устройства параметров следовало бы дать характеристику поддерживаемых систем виртуализации и оркестрации, а также форматов микросервисов. Стр.151. остается неясным, почему изначальный набор данных для нейронной сети делится на сегменты по 200 строчек. Имеются недочеты редакционного характера, встречаются опечатки и стилистические погрешности (например, на стр.6, 14, 27, 100, 121, 128). Стр. 18. Утверждение "сети пятого поколения призваны интегрировать в себе все достижения мобильных и фиксированных сетей связи, обеспечить скорость передачи данных в 10 Гбит/с и выше" некорректно в отношении скоростей передачи. Стр. 74. При классификации задержек в сетях связи следовало бы отметить технологию дополненной реальности, для которой задержки нормируются на уровне 5 мс. Стр. 90-91. требуется обоснование параметров, используемых для тренировки нейронной сети. Стр. 131. не ясно, почему для оптимизации был выбран алгоритм PSO, а не любой другой алгоритм, например, алгоритм стаи серых волков. По тексту имеются стилистические замечания, а также опечатки. Например, на стр. 66 можно прочитать про глубинное обучение, а на стр. 121 про алгоритм FORELL. Стр. 92. Автором не уточняется принцип выбора используемого количества нейронов во вложенных слоях ИНС. Стр. 11. Для апробации предложенных методов, автор определяет используемые инструменты, такие как Python версий 2.7, 3.4., но не уточняет обоснование выбора именно данного инструмента. В тексте автор говорит об использовании "стандартных" программных интерфейсов (например, стр. 25). При этом автор не уточняет, что передаваемые структуры данных и логика работы северного API контроллера не регулируется

стандартизирующими органами, а определяются разработчиками. Но при этом используются стандартные инструменты для реализации данного API, например REST API. По тексту имеются стилистические замечания, опечатки, а также некорректное оформление текста, например, формул. Стр. 79. автор не приводит обоснование выбора кольцевой топологии для SDN лабораторного стенда. Стр. 96. Из текста диссертации не ясно, каким образом данные диаграммы, показанной на рисунке 2.5.4.1, связаны с длинами пакетов, которые превалируют в том или ином кластере распределения точек. В представленной работе уделяется повышенное внимание идентификации и прогнозированию трафика, однако, не в достаточной степени проработаны вопросы оценки качества обслуживания передаваемых в сети классов трафика. В работе исследуются услуги сетей связи с ультрамалыми задержками и сверхнадежностью, вместе с этим недостаточно проработаны модели, позволяющие проводить оценку задержек и показателей надежности. В табл. 1 краткого описания алгоритма в PSO на стр. 12 автореферата даются ссылки на формулы (3.3.6.1) и (3.3.6.2), которые в автореферате отсутствуют. На стр. 14 автореферата в абзаце с описанием результатов четвертой главы предложение "В четвертой Главе был предложен метод мониторинга и прогнозирования нагрузки на контроллер SDN путем ..." представляется незавершенным. В пояснениях к рис. 2 и 3 говорится, что "Хорошо видно, что для поставленной задачи разработанная ИНС успешно прошла процесс обучения", однако не поясняется как оценивается эта успешность и возможно ли оценить этот процесс численно. В автореферате не указаны возможные ограничения на предложенный в работе метод идентификации трафика в сетях связи. Из автореферата на стр. 7 неясно, почему выбран промежуток времени $T = 1$ с при определении длины пакетов в потоке. В автореферате на рис. 6 представлен результат работы алгоритма K-средних. Непонятно почему был выбран именно этот алгоритм и какие его преимущества по сравнению с другими. Надписи на некоторых рисунках в автореферате выполнены слишком маленьким шрифтом и плохо читаемы. Во второй главе автореферата в описании модели машинного обучения не рассмотрены случаи смешанных потоков данных, например,

видеоданных и данных Интернета Вещей. В третьей главе не обосновано равное влияние параметров TimeSlot на итоговую функцию.

Выбор оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что оппоненты являются известными учеными в области сетей и систем связи, а ведущая организация – несомненным лидером по системам массового обслуживания для сетей связи. Д.т.н., доцент Т.М. Татарникова – одна из немногих докторов технических наук, которая имеет работы в области искусственного интеллекта для сетей связи, хорошо известна также своими работами в области современных сетей и систем связи, является авторитетным ученым. К.т.н., доцент М.А. Буранова работает в Поволжском университете связи и информатики, хорошо известна своими трудами в области теории телетрафика и теории массового обслуживания применительно к современным сетям и системам связи. Ведущая организация – Российский университет дружбы народов за последние годы зарекомендовала себя крупными достижениями в области сетей и систем связи пятого и последующих поколений. Отзыв сформирован на кафедре прикладной информатики и теории вероятностей, заведующим которой является известный специалист в области сетей связи д.т.н. профессор К.Е. Самуйлов, и подписан доцентом кафедры, к.ф.-м.н., доцентом И.А. Кочетковой и профессором кафедры, д.ф.-м.н., профессором Л.А. Севастьяновым.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований: разработаны основы взаимодействия туманных и граничных вычислений для реализации услуг сетей связи в виде микросервисов архитектуры программного обеспечения с учетом динамичности пользователей; **предложена** оригинальная научная идея по реализации услуг в современных сетях на базе микросервисов с возможностью их миграции для устройств туманных вычислений; **доказано**, что предложенные структура и метод взаимодействия туманных и граничных вычислений, основанные на алгоритмах Больших данных, обеспечивающие функционирование микросервисной архитектуры с возможностью живой миграции, позволяют уменьшить время выполнения функции микросервиса за счет рационального распределения

ресурсов на величину до 70%; **введено** новое понятие для сетей связи пятого и последующих поколений – миграция микросервисов.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что: доказано, что возможно эффективно использовать микросервисную архитектуру для предоставления услуг в сетях связи пятого и последующих поколений, обеспечивая при этом миграцию микросервисов между устройствами туманных вычислений; **применительно к проблематике диссертации результативно использованы** методы машинного обучения, теории оптимизации, имитационного и эмуляционного моделирования. Эмуляционное моделирование проводилось на базе модельной программно-конфигурируемой сети в рамках кафедры Сетей связи и передачи данных СПбГУТ. Имитационное моделирование выполнялось с помощью языка программирования Python версий 2.7, 3.4 с необходимыми программными пакетами и библиотеками обработки данных; **изложены** идеи о совместном использовании в сетях связи пятого и последующих поколений микросервисной архитектуры, туманных и граничных вычислений, машинного обучения; **раскрыты** особенности использования машинного обучения в условиях применения микросервисной архитектуры; **изучены** связи микросервисной архитектуры с методами машинного обучения; **проведена модернизация** существующей архитектуры сетей связи пятого поколения в направлении применения микросервисной концепции построения вычислительных систем и сетей.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что: разработаны и внедрены в ФГУП НИИР при выполнении государственных контрактов по научно-техническому и методическому обеспечению выполнения Министерством цифрового развития, связи и массовых коммуникаций функций Администрации связи Российской Федерации в Секторе стандартизации электросвязи Международного Союза Электросвязи (МСЭ-Т) в работах по разработке стандартов для сетей связи пятого и последующих поколений с учетом использования технологий искусственного интеллекта и в Санкт-Петербургском государственном университете телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича при чтении лекций и

проведении практических занятий по дисциплинам “Интернет Вещей и самоорганизующиеся сети”, “Искусственный интеллект в сетях и системах связи”, “Интернет вещей”, “Системы, сети и устройства телекоммуникаций”, а также при выполнении НИР “Исследование проблемных вопросов сетевой поддержки перспективных услуг сетей связи 2030, включая телеприсутствие, и путей их решения, в том числе на основе технологий искусственного интеллекта, при подготовке отраслевых кадров”; **определены** возможности прогнозирования нагрузки на контроллеры программно-конфигурируемых сетей на основе технологий искусственного интеллекта и анализа метаданных служебных потоков вне зависимости от АПК производителя; **созданы** модель и метод мониторинга, идентификации трафика услуг в сетях связи пятого и последующих поколений, основанный на аналитике метаданных потоков и алгоритмах машинного обучения, позволяющие исключить внесение дополнительных задержек и изменение структуры потоков; **представлены** рекомендации по построению сетей связи пятого и последующих поколений на базе микросервисной архитектуры, граничных и туманных вычислений, методов машинного обучения.

Оценка достоверности результатов исследования выявила: для **экспериментальных работ** результаты имитационного моделирования получены с использованием пакетов и библиотек языка программирования Python версий 2.7 и 3.4, а результаты эмуляционного моделирования – на базе модельной программно-конфигурируемой сети лаборатории кафедры ССиПД СПбГУТ; **теория** построена с использованием известных методов машинного обучения и теории оптимизации; **идея** мониторинга, идентификации трафика услуг в сетях связи пятого и последующих поколений, основанный на аналитике метаданных потоков и алгоритмах машинного обучения, позволяющий исключить внесение дополнительных задержек и изменение структуры потоков, **базируется** на использовании микросервисных архитектур; **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 основные результаты теоретических и экспериментальных исследований 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 и вопросы:

1. Работу Вы написали сложную. Для понимания 10-й слайд. Уточняющие вопросы. Ничего суперкритического нет. Начнем с самого верха над оркестратором и SDN. У Вас мониторинг. Понятно – аналитика. Что входит в аналитику?

2. 20 плакат. У Вас целевая функция – фитнес-функция называется. Поясните нижнюю формулу. Там задержка.

3. 19-й слайд. Задача определения центра пользователем при помощи алгоритма K-средних решалась в работе Чистовой Натальи Александровны. Вы знакомы с этой работой? Вы не претендуете на новизну решения данной задачи?

4. Симуляция. Слайд. Здесь показаны трехмерные схемы, устройства. Что за пользовательские устройства – это Интернет вещей, мобильные телефоны, либо это какие-то мобильные телефоны с поддержкой 5G? Дело в том, что как звучало раньше, от производительности достаточно много зависит, т.е. мы можем генерировать объемы трафика, допустим, в разы больше с мультимедийным контентом, стримы какие-то с телефона там отправлять. Либо же это устройство Интернет вещей, которое раз в двое суток отправляет одно сообщение по температуре и влажности. О каких устройствах речь идет?

Соискатель Волков А.Н. в ходе заседания ответил на задаваемые ему вопросы и привел собственную аргументацию:

По первому вопросу. В данном случае приложении аналитика, которое представлено на рисунке, – это то программное обеспечение, в котором реализуется данный метод, т.е. непосредственно искусственная нейронная сеть.

По второму вопросу. Необходимо было составить фитнес-функцию, которая будет описывать само устройство. Для составления данной фитнес-функции были

выбраны именно временные параметры, то есть мы искали то устройство, которое сможет с меньшим временем реализовать, вернее, то устройство, на котором работы микросервиса будет предоставлять меньшее время выполнения задачи.

По третьему вопросу. Тут стоит рассмотреть, что данная задача является совокупностью основной структуры, которая является именно непосредственно сущностью предложения в данной диссертации, т.е. это задача более низкого уровня, которая выполняется также на одном же уровне, как и другие задачи, решенные в данной диссертации именно в рамках предложенной структуры, то есть это не основная задача найти пользователя. На поиск основного центра – нет. Только именно на распределение микросервисов, учитывая центры пользователей.

По четвертому вопросу. Хороший вопрос и на него хотелось бы широко ответить, хотя бы в плане, что изначально и заход через предложение микросервисов был основан в первую очередь на том, чтобы использовать те маленькие ресурсы, которые невозможно использовать, например, при монолитных сервисах, когда сложное программное обеспечение, которое должно работать, получается в одной вычислительной области. Если же мы берем микросервисы, например, с достаточно высокой декомпозицией, мы можем использовать в том числе и устройства Интернета вещей, т.е. без ограничений.

А также согласился с замечаниями.

Диссертационный совет установил, что диссертация «Исследование и разработка методов построения инфраструктуры и предоставления услуг сетей связи на основе 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, 4, 11 и 14 паспорта научной специальности 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

На заседании 15 декабря 2021 года диссертационный совет принял решение присудить Волкову А.Н. ученую степень кандидата технических наук за решение научной задачи, имеющей значение для отрасли цифрового развития и связи, а именно: исследование и разработку методов построения инфраструктуры и

предоставления услуг сетей связи с использованием 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

Ученый секретарь диссертационного совета,
доктор технических наук, доцент



Маколкина Мария Александровна

17 декабря 2021 года