

## **Отзыв**

официального оппонента на диссертацию

Артема Николаевича Волкова «Разработка и исследование комплекса моделей и методов построения сетей связи на основе туманных вычислений и предоставления услуг телеприсутствия», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.15 – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций».

### **Актуальность темы диссертации.**

Современный этап развития сетей и систем связи отличается ростом инвестиций в новую инновационную компоненту, что связано с необходимостью как создания новых подходов к распределению ресурсов сети, так и появлением новых ресурсоемких услуг. К наиболее ресурсоемким следует отнести услугу телеприсутствия. Эту услугу можно в некотором смысле считать эталонной. Если сеть способна предоставлять ее с приемлемым уровнем качества, то можно считать, что надежность сети соответствует требованиям услуг URLLC и mMTC, ключевых с точки зрения сетей 5/6G. Развитие технологий и алгоритмов распределения ресурсов сети привело к появлению туманных вычислений, а для предоставления услуг телеприсутствия с требуемым качеством даже потребовались создать концепцию метавселенных. В итоге возник ряд новых научных проблем, в том числе построение архитектуры сети на основе туманных вычислений и предоставление услуг пользователям с преимущественным использованием технологий телеприсутствия. Модели и методы для решения именно этих проблем, разрабатываются и решаются в данной диссертационной работе, и, следовательно, тему этой диссертационной работы следует считать актуальной.

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

Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения, списка литературы и двух приложений. Диссертационная работа изложена на 330 страницах, включает в себя 57 рисунков, 8 таблиц, список литературы из 365 наименований.

Научная новизна диссертации заключается в следующем:

- Разработанная новая архитектура сетей связи отличается от известных тем, что все услуги связи предоставляются на ней на основе туманных вычислений, образующих туманности для динамического распределения

ресурсов сети, что позволяет уменьшить долю трафика, поступающего в ядро сети до 20%.

- Разработанные модель и метод построения сетей связи общего пользования отличаются от известных тем, что с целью предоставления услуг телеприсутствия в сельской местности и труднодоступных районах предложено использовать распределенные оркестраторы совместно с туманными вычислениями и динамическую кластеризацию для обеспечения максимальной стабильности кластера без необходимости миграции микросервисов.
- Разработанные модель и метод функционирования сети отличаются от известных применением бессерверной архитектуры для миграции групп типовых микросервисов при применении метаэвристического алгоритма стаи серых волков для определения группы устройств, на которую будет мигрировать группа контейнеров с микросервисами. Это позволяет как определить группу устройств, а не отдельное устройство, так и уменьшить время принятия решения о миграции в десятки раз по сравнению с известным метаэвристическим алгоритмом роя частиц.
- Разработан метод миграции микросервисов на основе согласованного в МСЭ нового протокола маршрутизации в среде динамических туманных вычислений, отличающийся от известных тем, что он обеспечивает взаимодействие устройств туманных вычислений для миграции микросервисов, и, при этом, позволяет достичь снижения потребляемой энергии устройствами туманных вычислений на 41% и уменьшить долю потерянных пакетов в среднем до 34%.
- Разработанная модель данных для датчиков и актуаторов, а также метод передачи данных, отличающиеся от известных тем, что данные формируются с использованием костюма телеприсутствия и передаются в объекты мультивселенных, например, цифровые и/или физические аватары, что позволяет обеспечить минимизацию суммарных издержек на ошибки квантования и задержку передачи данных.

Теоретическая значимость работы состоит в разработке и исследовании комплекса моделей и методов построения сетей связи на основе туманных вычислений и миграции микросервисов для обеспечения возможности реализации на сети Российской Федерации услуг телеприсутствия. Важными результатами, имеющими существенную теоретическую ценность, представляются модель данных для датчиков и актуаторов для костюма телеприсутствия, а также метод передачи этих данных в объекты цифровых

и/или физических аватаров, позволяющие обеспечить минимизацию суммарных издержек на ошибки квантования и задержку передачи данных.

Самостоятельную научную ценность имеют результаты по построению сетей связи на основе распределенных оркестраторов, что совместно с туманными вычислениями дает возможность предоставления услуг телеприсутствия в сельской местности и труднодоступных районах.

Практическая значимость диссертационной работы состоит в создании научно-обоснованных рекомендаций по созданию сетей связи на основе туманных вычислений для предоставления услуг телеприсутствия, что реализуется как в методике планирования сетей связи ПАО «ГИПРОСВЯЗЬ», так и в международных стандартах МСЭ-Т.

Полученные в диссертационной работе результаты внедрены в ПАО «ГИПРОСВЯЗЬ» при разработке методики планирования сетей связи, в ФГБУ НИИР при выполнении государственных контрактов по научно-техническому и методическому обеспечению выполнения Министерством цифрового развития, связи и массовых коммуникаций функций Администрации связи РФ в виде вкладов в труды МСЭ-Т, в Санкт-Петербургском государственном университете телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича при проведении НИР по Мегагранту «Исследование сетевых технологий с ультра малой задержкой и сверхвысокой плотностью на основе широкого применения искусственного интеллекта для сетей 6G» по соглашению с Миннауки РФ, при выполнении НИР «Прикладные научные исследования в области создания сетей связи 2030, включая услуги телеприсутствия с сетевой поддержкой, и экспериментальная проверка решений при подготовке отраслевых кадров» в 2023г., а также при чтении лекций, проведении практических занятий и лабораторных работ для студентов профильных специальностей.

### **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 натурного и имитационного моделирования, реализованного на модельной сети в СПбГУТ, а также широким спектром публикаций и выступлений как на российских, так и на международных научных конференциях.

Основные результаты диссертационной работы обсуждались на российских и международных конгрессах, конференциях и семинарах, среди

которых отметим "2nd International Meet & Expo on Robot Intelligence Technology and Applications (ROBOTMEET2023) (Ванкувер, Канада, 2023), Distributed Computer and Communication Networks (DCCN 2023) (Москва, 2023), Second International conference on Cybersecurity, Cybercrimes, and Smart Emerging Technologies (Эр-Рияд, Саудовская Аравия, (2023-2024), UN Metaverse: Think-a-Thon Virtual Worlds Revolutionizing Smart Sustainable Cities & Communities (Женева, Швейцария, 2024), 23rd International Conference on Next Generation Wired/Wireless Networks and Systems (NEW2AN), (Дубай, ОАЭ, 2023), 7th International Conference on Future Networks & Distributed Systems (ICFNDS) (Дубай, ОАЭ, 2023), International Conference on Advanced Computing & Next-Generation Communication, ICACNGC 2023, Санкт-Петербург, 2023 и др.

Основные результаты диссертации изложены в 11 научных статьях, опубликованных в журналах из перечня ВАК при Минобрнауки России, в 19 работах в изданиях, включенных в международные базы цитирования WoS и Scopus и в других научных изданиях.

#### **Замечания по диссертационной работе.**

1. В тексте присутствует некоторая избыточность, в которой нет необходимости с точки зрения содержания работа. Например, перечень глобальных целей устойчивого развития на стр. 15-16 диссертационной работы. Выводы по главе 1 могли быть написаны более конкретно.
2. Понятие «метавселенная» является одним из базовых в диссертационной работе, однако, впервые в основном тексте этот термин встречается на стр. 96 диссертации, а определение метавселенной дано лишь на стр. 105, и, почему-то на английском языке. Как следствие, возникают вопросы по отличию концепций «метавселенной» и «мультивселенной» (см. стр. 99).
3. Раздел 2.3 посвящен описанию новой архитектуры сети, основанной на концепции туманных вычислений. Раздел следовало дополнить конкретными примерами реализации архитектуры и более информативными рисунками. Некоторые положения раздела 2.4 представляются слабо обоснованными. Например, не ясно, почему доля трафика внутри кластера имеет бета распределение. Вывод 4 в тексте главы 2 не прокомментирован.
4. В главе 3 рисунок 3.2 фактически является повтором рисунка 2.1. В формуле (3.1) отсутствуют переменные  $X_c$ ,  $Y_c$ ,  $Z_c$ . Заголовок раздела 3.2

содержит термин «точечный процесс Неймана Скотта», однако по тексту раздела термин отсутствует и не определен.

5. В главе 4 предлагается для реализации динамических туманных вычислений использовать бессерверную архитектуру. При этом используется понятие «высоконагруженная сеть», которое следует хотя бы в примерах определить с использованием числовых значений, принятых в нормативных отраслевых документах. Это требуется для определения критериев миграции сервисов и, следовательно, метода миграции.
6. На рисунках 4.4, 4.5 использованы английские термины, не определенные по тексту работы. Алгоритм PSO тривиален и не требует описания на псевдокоде как в Таблице 4.3.
7. Требуется более полное обоснование выбора для исследований в разделе 4.4 именно алгоритма стаи серых волков, а не иных алгоритмов.
8. В диссертационной работе содержится ряд опечаток и неточностей. Например, на стр.174 в тексте дана ссылка на рис.3.4, хотя на самом деле дальнейшее описание идет про рис.3.3.

## **Выводы.**

Отмеченные недостатки не снижают ценности результатов диссертации для теории и практики. Диссертационная работа Артема Николаевича Волкова «Разработка и исследование комплекса моделей и методов построения сетей связи на основе туманных вычислений и предоставления услуг телеприсутствия» является законченной научно-квалификационной работой. Диссертация соответствует следующим пунктам паспорта специальности 2.2.15 - Системы, сети и устройства телекоммуникаций: 4,9,10,12 и 18.

В диссертации решена научная проблема разработки и исследования комплекса моделей и методов построения сетей связи на основе туманных вычислений и предоставления услуг телеприсутствия в мультивселенной при использовании костюмов телеприсутствия, имеющая важное 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 25.01.2024. Автореферат полностью отражает основное содержание диссертационной работы.

Диссертационная работа «Разработка и исследование комплекса моделей и методов построения сетей связи на основе туманных вычислений и предоставления услуг телеприсутствия» заслуживает положительной оценки,

а ее автор – Артем Николаевич Волков - присвоения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.15 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

22.11.2024 г.

**Официальный оппонент:**

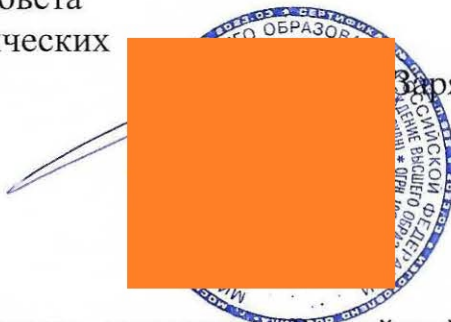
заведующий кафедрой  
теории вероятностей и кибербезопасности РУДН,  
доктор технических наук,  
профессор



Самуйлов Константин Евгеньевич

Подпись К. Е. Самуйлова удостоверяю.

Ученый секретарь Ученого совета  
факультета физико-математических  
и естественных наук РУДН



Зарядов Иван Сергеевич

**Сведения об оппоненте:**

Самуйлов Константин Евгеньевич, гражданин Российской Федерации, доктор технических наук по специальности 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций, профессор, заведующий кафедрой теории вероятностей и кибербезопасности РУДН.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук «Методы анализа и расчета сетей сигнализации и мультисервисных сетей с одноадресными и многоадресными соединениями» защищена в 2005 году по специальности 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»

**Адрес:** 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6

**Тел.:** +7 (495) 434-70-27

**Email:** rector@rudn.ru