

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента  
на диссертацию Волкова Артема Николаевича  
«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**

В последнее десятилетие одну из сторон технологического уклада экономики, которая обеспечивает информационное взаимодействие людей, совместно участвующих в некотором масштабном процессе деятельности, стали называть цифровой экономикой. Создание цифровой экономики является задачей государственного масштаба. Без ее решения нельзя достигнуть целей национального развития Российской Федерации, поскольку создаваемые ею способы построения цифровых систем и технологий формируют новые формы совместной работы и общения людей, разделенных временем, расстоянием и языковым барьером, и позволяют решать проблемы взаимодействия, неразрешимые другими способами.

Цифровая экономика комплексно охватывает весь комплекс цифровых технологий и систем работы с большими объемами цифровых данных (оценка снизу – 175 зеттабайт в 2025 г. в мире) от систем хранения до цифровых сетей связи. Эффективность систем цифровой экономики существенно зависит от архитектурных решений, которые объединяют смыслы разработки с доступными техническими решениями.

Достижения в областях создания:

- высокоэффективных и дешевых монокристаллических систем (SoC), объединяющих процессоры, системы ввода-вывода, блоки оперативной и постоянной памяти и другие возможности полноценных компьютеров;
- консолидирующих гипервизоров;
- дешевых источников автономного питания большой емкости и другие достижения цифровой индустрии позволяют архитекторам сетей все шире использовать туманные вычисления.

Туманные вычисления изменяют архитектуру систем, принципиально изменяют процессы управления процессами предоставления услуг, требуют разработки иных моделей оценки качества обслуживания, открывают новое направление развития сетей связи – перенос виртуальных технологий в разряд сетевых услуг.

В связи с этим, тема диссертационной работы и проведенные исследования актуальны.

## **Содержание работы**

Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения, списка литературы и двух приложений. Работа содержит 330 страниц машинописного текста, 57 рисунков, 8 таблиц, список литературы включает 365 наименований.

В первой главе анализируется существующее положение в области исследования и международной стандартизации сетей связи ИМТ-2020 и ИМТ-2030, роли и места туманных вычислений, в первую очередь, для реализации услуг телеприсутствия.

Во второй главе представлены результаты исследования и разработки архитектуры сетей связи с использованием туманных вычислений, образованием туманностей для динамического распределения ресурсов сети.

В третьей главе рассматриваются сети связи общего пользования в качестве объекта внедрения услуг телеприсутствия.

В четвертой главе исследуется бессерверная архитектура сети.

В пятой главе рассматривается протокол маршрутизации для взаимодействия устройств туманных вычислений.

В шестой главе предлагаются модели формирования и передачи данных костюма телеприсутствия.

Заключение констатирует наиболее важные результаты работы.

Внедрение результатов диссертационной работы подтверждено соответствующими актами.

### **Новизна научных положений, выводов и рекомендаций**

Научная новизна диссертационной работы, в основном, определяется предметом исследования, которым является процесс функционирования сети связи, использующей туманные вычисления для предоставления услуг телеприсутствия в метавселенной, в том числе и при использовании костюмов телеприсутствия.

Сформулированные соискателем научная проблема и соответствующие этой проблеме научные задачи были успешно решены благодаря пониманию сути изменений, происходящих в развитии сетей связи, и глубокому анализу особенностей:

- технологий граничных и туманных вычислений,
- моделей метавселенных.

Научная новизна работы состоит в следующем:

1. Изучена архитектура сетей связи, основанная на туманных вычислениях и динамическом распределении ресурсов сети.
2. Разработаны модель и метод построения сетей связи общего пользования, отличающиеся от известных, предоставлением услуг телеприсутствия в сельских и труднодоступных районах без необходимости миграции микросервисов.

3. Разработаны модель и метод функционирования сети с бессерверной архитектурой, позволяющей уменьшить время принятия решения о миграции микросервисов.

4. Разработан метод миграции микросервисов на основе нового протокола маршрутизации в среде динамических туманных вычислений, позволяющий достичь снижения потребляемой энергии устройствами туманных вычислений.

5. Разработаны модель данных для датчиков и актуаторов костюма телеприсутствия и метод передачи этих данных цифровым и/или физическим аватарам, минимизирующие суммарные издержки из-за ошибок квантования и задержек передачи данных.

Полученные результаты позволят снизить требования к производительности элементной базы и энергопотребление той части оборудования сетей связи, которая используется для предоставления услуг телеприсутствия и, тем самым, приблизить реализацию сетевых сервисов, которые необходимы для построения метавселенных.

Ценность диссертации для науки и практики определяется системным характером и четкой постановкой проблемы исследования, учетом широкого круга факторов, влияющих на процессы функционирования сетей связи, использующих туманные вычисления.

К важным достоинствам работы также следует отнести следующее:

- теоретические положения диссертации доведены до конкретных моделей и методов;

- предложенные методы могут быть использованы при исследовании широкого класса архитектур перспективных сетей.

Пояснительная записка написана достаточно грамотно, подробно, хорошим научно-техническим языком.

Содержание автореферата и опубликованных в научной печати материалов достаточно подробно отражает содержание диссертационной работы.

Главные положения исследования 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, а также в других научных изданиях.

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

Обоснованность и достоверность представленных в работе научных положений, выводов и результатов подтверждается корректным применением математического аппарата, результатами натурного и имитационного моделирования (натурное моделирование проводилось 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 следующих конгрессах, конференциях и семинарах: семинар Заседание секции «Радиоэлектроника» Дома ученых имени М. Горького РАН (Санкт-Петербург, 2023), конкурс "5G bloomig cup" – БРИКС (Китай, 2023), форум V Международной конференции «Наука будущего», VIII Всероссийский молодежный научный форум (Россия, 2023), Второй научный форум «Наука будущего – наука молодых», (Орел, Россия, 2023), "2nd International Meet & Expo on Robot Intelligence Technology and Applications (ROBOTMEET2023) (Ванкувер, Канада, 2023), Форум 2023 BRICS Forum on Future Networks Innovation (BFFNI) – БРИКС (Шэньчжэнь, 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), 26th IEEE International Conference on Advanced Communications Technology (ICACT) (Корея, 2024), UN Metaverse: Think-a-Thon Virtual Worlds Revolutionizing Smart Sustainable Cities & Communities (Женева, Швейцария, 2024), Глобальный Саммит “Искусственный интеллект во Благо” (Женева, Швейцария, 2024), Форум МСЭ “Сети будущего” и тренинг “тестирование на соответствие и функциональную совместимость” (Ташкент, Республика Узбекистан, 2023), 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), Международная конференция по современным системам вычислений и связям следующего поколения (англ. International Conference on Advanced Computing & Next-Generation Communication, ICACNGC 2023) (Санкт-Петербург, 2023).

### **Практическая ценность полученных результатов**

Практическая ценность полученных результатов диссертационной работы состоит в создании научно обоснованных рекомендаций по созданию и планированию будущих сетей связи. На базе предложенных моделей и методов можно создать сеть, поддерживающую услуги метавселенной. Предложенные модели и методы могут использоваться в различных отраслях народного хозяйства, а также для оптимизации показателей эффективности функционирования существующих или перспективных сетей.

Полученные результаты могут использоваться в учебном процессе на уровне магистратуры и аспирантуры при чтении курсов теоретического и прикладного характера.

### **Замечания по диссертационной работе**

1. Представляется некорректным термин «сети связи пятого и последующих поколений», используемый при обозначении объекта исследования. И здесь дело не только в том, что «нумерация» поколений имеет

хоть какой-то и все меньший смысл только для сотовых сетей связи, фактически, сетей доступа.

Реально существующим объектом является сеть связи, использующая широкий спектр технологий «всех времен» и предоставляющая множество разнообразных услуг. Сегодня такую сеть можно назвать «сеть пятого, предшествующих и последующих поколений».

2. Архитектуры, которые рассматриваются в диссертации, относятся не к сети как таковой, а к системе управления процессами предоставления особых услуг, предполагающих перенос в сеть технологий виртуальной и дополненной реальностей. Остается непонятным, следует ли менять архитектуры систем управления традиционными услугами, например, главной из них – передача голоса.

3. Вызывает сомнение методика, в соответствии с которой автор оценивает эффективность использования предлагаемых моделей и методов:

«... достичь снижения потребляемой энергии устройствами туманных вычислений на 41% и уменьшить долю потерянных пакетов в среднем до 34%» (стр. 222);

«... что позволяет уменьшить долю трафика, поступающего в ядро сети, на 20%» (стр. 8).

4. На стр. 39 упоминается о глубокой интеграции методов искусственного интеллекта в сетевую инфраструктуру для решения задач мониторинга и автономизации. Следовало бы пояснить глубину интеграции и степень автономизации.

5. Требуется большего обоснования выбор алгоритма SCAD для решения задачи по выбору места расположения координатора, а не какого-либо иного центроидного алгоритма (стр.185).

6. В последней главе много раз упоминается задача повышения иммерсивности услуги телеприсутствия. Однако при этом нигде в главе нет информации о том, как измерить этот параметр.

7. В диссертации достаточно много стилистических неточностей и опечаток.

## **Выводы**

Приведенные выше замечания не влияют на положительную оценку диссертации в целом. Диссертационная работа Волкова Артема Николаевича «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, имеющая важное значение для отрасли связи, а именно: разработан и исследован комплекс моделей и методов построения сетей связи на основе туманных вычислений и предоставления услуг телеприсутствия в мультиселенной при использовании костюмов

телеприсутствия. 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 адекватно отражает основное содержание диссертационной работы.

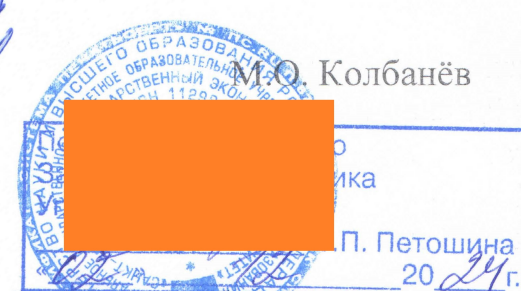
Диссертационная работа «Разработка и исследование комплекса моделей и методов построения сетей связи на основе туманных вычислений и предоставления услуг телеприсутствия» оценивается положительно. Автор диссертации Волков Артем Николаевич заслуживает присвоения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.15 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

02 декабря 2024 г.

Официальный оппонент,

профессор кафедры «Информационных систем и технологий» ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный экономический университет»,

д.т.н., профессор



Организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский государственный экономический университет" (СПбГЭУ). Сайт: <https://unecon.ru/>  
Адрес: Россия, 191023, г. Санкт-Петербург, наб. кан. Грибоедова, д. 30-32, лит. А.  
Тел. +7 (812) 310-46-32. E-mail: dept.ud@unecon.ru