

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу **Волкова Артёма Николаевича**

«Исследование и разработка методов построения инфраструктуры и предоставления услуг сетей связи 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 работы

Развитие инфокоммуникационных технологий в настоящее время находится на этапе внедрения сетей следующего (пятого) поколения, инфраструктура, предлагаемые приложения и услуги которой реализуют достаточно сложные научно-прикладные задачи. Например, большая плотность устройств в сети при высокой пропускной способности и сверхмалых задержках. Вспомним, к примеру класс сетей, определенных как один из трех «китов» сетей связи IMT-2020 – URLLC-сети (Сверхнадежные сети со сверхмалыми задержками).

В ряде последних исследований был определен естественный, гибкий переход к сетям связи 2030, где ожидается постепенная имплементация URLLC-сетей и соответствующих услуг. При этом необходимо проанализировать основные тенденции в развитии сетей связи и выделить причинно-следственные связи. Так, усложнение систем управления, требования URLLC-сетей, новые услуги и ожидающаяся оперативность в принятии решений по распределению ресурсов (вычислительных и сетевых), сложность и разветвленность распределенных систем обработки данных, сформировало естественную необходимость в интеллектуализации сетей связи, в качественном переходе от «ручного или гибридного» управления сразу к «интеллектуальному». Данный факт подтверждается ростом публикаций как международного, так и национального уровня, открытием исследовательских центров и лабораторий, тематикой проводимых конференций и международных конкурсов. Ожидается, что интеграция технологий искусственного интеллекта позволит разрешить те

барьеры и сложности, с которыми столкнулось научно-техническое сообщество в области развития сетей связи и их услуг. В связи с вышесказанным, тема диссертационной работы, направленная на исследование и разработку методов построения инфраструктуры и предоставления услуг сетей связи на основе технологий искусственного интеллекта, является очень **актуальной**.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и научная новизна

Обоснованность научных результатов, полученных в диссертации, следует из использования адекватных математических методов, которые представляют собой либо классические методы искусственных нейронных сетей, в том числе гибридных, либо методы многопараметрического корреляционного анализа, либо достаточно широко известные методы кластеризации и поиска глобального максимума. С помощью методов натурального и имитационного моделирования проверена справедливость теоретических выводов диссертационной работы. Стоит отметить, что применяемые автором условия реализуемости предлагаемых решений отвечают физическому смыслу решаемых задач.

Новизна и достоверность полученных результатов

Новые результаты, полученные в работе:

1. Для решения задачи идентификации трафика услуг в сетях связи пятого и последующих поколений, построенных на основе технологии Программно-конфигурируемых сетей, разработан метод, использующий метаданные, структура которых формируется на основе предоставляемых данных с коммутаторов на контроллер и передается по запросу служебных приложений. При этом служебные приложения запрашивают данные через северный программный интерфейс контроллера Программно-конфигурируемой сети. Данный метод позволяет исключить внесение дополнительных задержек при решении задачи идентификации трафика, так как предложенный метод реализуется на уровне приложений сети, а не на уровне передачи данных.

2. Для планирования сети связи высокой плотности предложены структура взаимодействия туманных и граничных вычислений, в которой предложена реализация услуг на основе микросервисной архитектуры программного обеспечения, что позволит использовать устройства с меньшими ресурсами и бережливо использовать имеющийся вычислительный и сетевой потенциал инфраструктуры.

3. В рамках предложенной структуры, упомянутой в п.2, разработан метод взаимодействия туманных и граничных вычислений, обеспечивающий функционирование микросервисной архитектуры услуг с возможностью живой миграции, позволяющий уменьшить время выполнения функции микросервиса путем рационального выбора устройства Туманных вычислений.

4. Для цели повышения устойчивости управляющих систем в SDN-сетях разработан метод прогнозирования нагрузки на контроллеры Программно-конфигурируемых сетей, позволяющий исключить зависимость программного обеспечения мониторинга от особенностей АПК производителей.

На основании выполненных автором исследований представленную работу можно охарактеризовать как содержащую обоснованные технические решения, внедрение которых вносит вклад в развитие техники систем связи.

Научная ценность диссертационной работы заключается в разработанных новых подходах в задачах идентификации трафика в программно-конфигурируемых сетях, распределения вычислений и прогнозирования роста нагрузки на контроллеры SDN. Данные подходы используют, отличающиеся от существующих, возможности программируемости инфраструктуры, второстепенные данные (например, структура метаданных, формируемая на основе счетчиков каждой из записи таблиц OpenFlow), возможности глубокой интеграции с микросервисной архитектуры ПО услуг и инфраструктуры, а также сервисный подход, что позволяет разрешить проблему внесения задержек в задачах распознавания трафика, проблему зависимости от АПК производителя

при прогнозировании нагрузки на управляющую систему SDN, а также проблему роста спроса сервисов при достаточно жестких требованиях к новым типам услуг.

Теоретическая и практическая ценность работы

Практическая значимость состоит в том, что полученные в диссертационной работе результаты использованы 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 международных рекомендаций для сетей связи пятого и последующих поколений с учетом технологий искусственного интеллекта, а также в Санкт-Петербургском Государственном Университете Телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича (СПбГУТ) при проведении практических занятий и чтении лекций по дисциплинам "Интернет Вещей и самоорганизующиеся сети", "Искусственный интеллект в сетях и системах связи", "Интернет вещей", "Системы, сети и устройства телекоммуникаций".

Апробация диссертации и публикации

Материалы, отражающие основные результаты диссертационной работы, опубликованы в отраслевых журналах, сборниках трудов конференций. Всего опубликовано 8 научных работ, из них 4 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования, 2 статьи в изданиях, индексируемых в международных базах данных, 2 – в других изданиях и материалах научных конференций.

Оценка структуры, содержания и оформления диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав с выводами по каждой из них, заключения, списка литературы и 3 (трёх) приложений.

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации, приводится

научная новизна результатов и их практическая ценность, положения, выносимые на защиту.

Первая глава содержит анализ основных направлений развития сетей связи и в том числе приводится анализ статуса международной стандартизации технологий искусственного интеллекта в сетях связи, здесь формулируются цели и задачи диссертационного исследования. Приводится исследование методов мониторинга и управления трафиком на основе технологий Машинного обучения и Больших данных.

Во второй главе рассмотрена возможность программируемости Программно-конфигурируемых сетей и функциональные возможности протокола OpenFlow. Была определена задача идентификации трафика услуг в сетях связи и предложено решение в качестве метода, использующего метаданные потоков на уровне передачи данных, сервисной модели расположения системы и искусственную нейронную сеть.

В третьей главе приведено исследование и определена необходимость перехода к децентрализации облачных вычислений. Разработаны и предложены структура и метод взаимодействия туманных и граничных вычислений с поддержкой микросервисной архитектуры услуг. Предложенный метод взаимодействия туманных и граничных вычислений, обеспечивающий функционирование микросервисной архитектуры услуг с возможностью живой миграции, позволяет уменьшить время выполнения функции микросервиса путем рационального выбора устройства Туманных вычислений.

В четвертой главе рассмотрена проблема мониторинга контроллеров Программно-конфигурируемых сетей. Предложен метод прогнозирования нагрузки на контроллеры на основе технологий Машинного обучения. При этом, проведено дополнительное исследование, подтверждающее выдвинутую гипотезу о возможном дистанционном мониторинге на основе косвенных данных (активности поступаемых служебных потоков OpenFlow) через проведение многопараметрического корреляционного анализа данных развернутого стенда.

Диссертационная работа выглядит как логично сформированное и завершённое научное исследование. Автореферат правильно отражает основной материал диссертационной работы.

Замечания по диссертационной работе

1) Стр.92. Автором не уточняется принцип выбора используемого количества нейронов во вложенных слоях ИНС.

2) 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.

3) 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 регулируются стандартизирующими органами, а определяются разработчиками. Но при этом используются стандартные инструменты для реализации данного API, например, REST API.

4) По тексту имеются стилистические замечания, опечатки, а также некорректное оформление текста, например формул.

5) Стр. 79. Автор не приводит обоснование выбора кольцевой топологии для SDN лабораторного стенда.

6) 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.

Отмеченные недостатки не являются принципиальными и не снижают общую положительную оценку представленной работы. Диссертацию А.Н. Волкова можно рассматривать как законченную научно-исследовательскую работу.

Выводы и заключение

На основании вышеизложенного можно заключить, что представленная диссертация Волкова Артёма Николаевича «Исследование и разработка методов

построения инфраструктуры и предоставления услуг сетей связи на основе технологий искусственного интеллекта» является законченной научно-квалификационной работой, содержит новые оригинальные научные результаты. Диссертация полностью соответствует критериям установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней», п.9 (в ред. Постановления Правительства РФ от 21.04.2016 N 335), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук по специальности 2.2.15 – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций», а ее автор, Волков Артём Николаевич, заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата технических наук по этой специальности.

Официальный оппонент:

доцент кафедры информационной безопасности
ФГБОУ ВО «Поволжский государственный
университет телекоммуникаций и информатики»
(ФГБОУ ВО ПГУТИ),
к.т.н., доцент

 Марина Анатольевна Буранова

25. 11. 2021 г.

Подпись Бурановой М.А. заверяю:

Ученый секретарь Ученого совета

ФГБОУ ВО ПГУТИ, к.э.н., доцент



О.В. Витевская

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики»
443010, г. Самара, ул., Льва Толстого, д. 23
т. +7 (846) 333-58-56
E-mail: priem@psati.ru.