

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 29 ноября 2023 г. № 15

О присуждении Горбачевой Любови Сергеевне, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Исследование характеристик трафика и качества обслуживания для роботов-манипуляторов в сетях связи с ультрамалыми задержками» по специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций принята к защите 27 сентября 2023 года, протокол № 13 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 Горбачева Любовь Сергеевна, 04 мая 1997 года рождения, работает ассистентом на кафедре сетей связи и передачи данных в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича», Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации.

В 2020 году соискатель окончила Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича" с присвоением квалификации инженера по специальности

"Инфокоммуникационные технологии и системы специальной связи". С 2020 по настоящее время является аспирантом Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения 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 – доктор технических наук Кучерявый Андрей Евгеньевич, 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, завещующий кафедрой.

Оппоненты: 1. Колбанев Михаил Олегович, доктор технических наук, профессор, основное место работы: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский государственный экономический университет", кафедра информационных систем и технологий, профессор кафедры; 2. Степанов Михаил Сергеевич, кандидат технических наук, доцент, основное место работы: Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский технический университет связи и информатики», кафедра сетей связи и систем коммутации, доцент кафедры, дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы", г. Москва, в своем положительном заключении, подписанном Самуйловым Константином Евгеньевичем, доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой и Кочетковой Ириной Андреевной, кандидатом физико-математических наук, доцентом, доцентом

кафедры теории вероятностей и кибербезопасности, утвержденном Костиным Андреем Александровичем, доктором медицинских наук, профессором, первым проректором – проректором по научной работе, указала, что представленная диссертация является научно-квалифицированной работой. Полученные автором результаты отличаются научной новизной и практической значимостью. Отмеченные недостатки не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы. Результаты апробированы на значимых научных конференциях. Основные научные результаты диссертации достаточно полно опубликованы в ведущих российских и зарубежных изданиях. Название работы полностью отражает ее содержание, содержание диссертации соответствует пунктам 1, 7, 9 и 19 специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций. На основании изложенного считают, что Горбачева Любовь Сергеевна заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук.

Соискатель имеет 17 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 9, из них в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК, – 5, в том числе 5 в изданиях, соответствующих искомой специальности, а также: 1 работа в изданиях, индексируемых в международных базах цитирования; 2 статьи в других научных журналах, сборниках научных статей, трудов и материалах конференций; 1 отчет о НИР. Из них 2 работы опубликованы соискателем без соавторства. Общий объём авторского вклада в работы (без результатов интеллектуальной собственности) составляет 2,79 печ.л. из общего количества 45,3 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. Горбачева, Л.С. Модельная сеть для исследований и обучения в области услуг телеприсутствия / А.Е. Кучерявый, М.А. Маколкина, А.И. Парамонов, А.И. Выборнова, А.С.А. Мутханна, А.Ю. Матюхин, Р.А. Дунайцев, С.С. Владимиров, О.И. Ворожейкина, М.В. Захаров, В.Д. Фам, А.В. Марочкина,

Л.С. Горбачева, Б.О. Паньков, Б.Н. Анваржонов // Электросвязь. – 2022. – № 1. – С. 14-20.

2. Горбачева, Л.С. Исследование влияния характеристик сети на функционирование многофункционального робота-манипулятора / Л.С. Горбачева, В. Д. Фам, А. Ю. Матюхин, А. Е. Кучерявый // Электросвязь. – 2022. – № 2. – С. 37-41. – DOI 10.34832/ELSV.2022.27.2.005. – EDN MPFDRA.

3. Горбачева, Л.С. Метод оптимального использования сетевых ресурсов для робота-манипулятора // Электросвязь. – 2023. – № 5. – С. 21-26.

4. Горбачева, Л.С. Разработка модельной сети и анализ сетевого трафика управления роботом-манипулятором // Труды учебных заведений связи. – 2023. – Т. 9, № 3. – С. 75-81.

5. Горбачева, Л.С. Перспективные исследования сетей и услуг 2030 в лаборатории 6G Meganetlab СПбГУТ / Л.С. Горбачева, А.Н. Волков, А.С.А. Мутханна, А.Е. Кучерявый, А.С. Бородин, А.И. Парамонов, С.С. Владимиров, Г.А. Фокин, Р.А. Дунайцев, М.В. Захаров, Б.О. Паньков, Б.Н. Анваржонов // Электросвязь. – 2023. – № 6. – С. 2-11. – DOI 10.34832/ELSV.2023.43.6.001.

Публикации в изданиях, индексируемых в МБЦ:

6. Gorbacheva, L.S. A First-Priority Set of Telepresence Services and a Model Network for Research and Education / А.Е. Koucheryavy, М.А. Makolkina, А.И. Paramonov, А.И. Vybornova, А.С.А. Muthanna, L.S. Gorbacheva, R.A. Dunaytsev, S.S. Vladimirov, О.И. Vorozheykina, А.В. Marochkina, В.О. Pankov, В.Н. Anvarzhonov // Distributed Computer and Communication Networks, 25th International Conference, DCCN 2022 Moscow, Russia, September 26–29, 2022 Revised Selected Papers - DOI 10.1007/978-3-031-30648-8.

Публикации в других изданиях:

7. Горбачева Л.С. Трехмерные многослойные гетерогенные сверхплотные сети / А.Е. Кучерявый, А.И. Парамонов, М.А. Маколкина, Л.С. Горбачева [и др.] // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2022. – Т. 10, № 3. – С. 1-12.

8. Горбачева, Л.С. Модели показателей качества обслуживания для трафика (роботов-манипуляторов) / Л.С. Горбачева, А.И. Парамонов // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2022. – Т. 10, № 3. – С. 13-19.

9. Прикладные научные исследования в области создания сетей связи 2030, включая услуги телеприсутствия с сетевой поддержкой, и экспериментальная проверка решений при подготовке отраслевых кадров. Вторая очередь». Шестаков А.В., Громова Н.Н., Кучерявый А.Е., Маколкина М.А., Парамонов А.И., Выборнова А.И., Мутханна А.С.А., Матюхин А.Ю., Дунайцев Р.А., Владимиров С.С., Паньков Б.О., Есалов К.Э., Помогалова А.В., Швидкий А.А., Рогозинский Г.Г., Татаренков Д.А., Кирик Д.И., Глушанков Е.И., Коровин К.О., Симонина О.А., Егоров С.Г., Горобцов И.А., Бойко И.А., Андреев Р.А., Прасолов А.А., Федоров А.С., Мышьянов С.В., Мошков В.В., Татарникова И.М., Фролова К.А., Плетнев Я.А. // Отчет о НИР. Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации. 2022. № 122020100465-3. – СПб.: СПбГУТ, 2022. – 660 с.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы: официального оппонента Колбанева М.О.; официального оппонента Степанова М.С.; ведущей организации РУДН; Дивеев А.И., д-ра техн. наук, проф., главного научного сотрудника, руководителя отдела 55 "Управление робототехническими устройствами" Федерального исследовательского центра "Информатика и управление" Российской академии наук; Бурановой М.А., д-ра техн. наук, доц., профессора кафедры информационной безопасности Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики; Никульского И.Е., д-ра техн. наук, доц., с.н.с., главного специалиста, заместителя главного конструктора Центрального научно-производственного объединения "Ленинец"; Тонких Е.В., канд. техн. наук, заместителя начальника отдела Научно-исследовательского института радио; Вишневого В.М., д-ра техн. наук, проф., заведующего лабораторией № 69 «Управление сетевыми системами» Института проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук; Ковтуненко А.С., канд. техн. наук, доц., заместителя директора по науке Института информатики, математики и робототехники Уфимского университета науки и технологий;

Самойлова А.Г., д-ра техн. наук, проф., профессора кафедры радиотехники и радиосистемы Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых.

Все отзывы положительные. Но есть критические замечания. Было бы полезно указать по какой причине для исследований выбран многофункциональный робот-манипулятор Dobot Magician (стр. 36). Неясно, к какому классу потоков в соответствии с классификацией Кендалла–Башарина относится поток трафика, поступающий от сервера к клиенту (стр. 66). Трафик цифровых сетей связи, который формируется аналоговыми процессами, такими как захват предмета рукой манипулятора или черчение объектов, существенно зависит от процессов дискретизации, т.е. описания аналогового движения дискретными отсчетами во времени и пространстве. Больше отсчетов – больше трафик, меньше отсчетов – меньше точность описания движения. Не понятно, в каких пределах могут меняться заявленные характеристики трафика (количество пакетов/с, средний размер пакета в байтах и скорость передачи данных в бит/с) для выполнения требований по задержкам. На самом деле услуги URLLC достаточно разнообразны, и требуемая задержка может меняться в диапазоне от 1 до 10 мс. Например, для приложений дополненной реальности задержка составляет 5 мс. В первой главе, которая посвящена анализу развития сетей связи и использованию услуг телеприсутствия с помощью роботов-манипуляторов, при рассмотрении классификации роботов стоило также добавить графики по росту численности сервисных роботов. На рисунках 25 и 42, где представлены сценарии обмена сообщениями между роботом-манипулятором и пользователем, возможно следует поменять подписи «сервер и клиент» на «передатчик и приемник». Так как активная роль в клиент-серверном взаимодействии принадлежит клиенту. А по рисунку можно сказать, что эту роль выполняет сервер. При описании эксперимента на странице 13 говорится о внесении затухания с помощью аттенюатора, однако не ясно на каком участке сети производится эта операция. На схеме модельной сети аттенюатор не изображен. На странице 20 автореферата автор говорит о коэффициенте самоподобия трафика, вероятно, имеется в виду параметр Хёрста, однако, автор этого не конкретизирует, что затрудняет

понимание полученных результатов. Говоря о требуемой величине задержки от 1 до 10 мс, следовало уточнить, имеется в виду задержка в одну сторону или круговая. Из формулы 1 неясно, как соотносится количество данных в служебных сообщениях ( $L$ ) с количеством команд в серии ( $b$ ). Является ли  $L$  константой, не зависящей от размера серии команд? Название диссертации не отражает полностью представленную научную работу. В названии указано только исследование, хотя в самой работе помимо исследований была выполнена также и разработка, например, указанные в основных результатах метод организации обмена данными и протокол прикладного уровня для робота манипулятора. Из содержания автореферата не ясно, какими критериями оперировала автор работы при определении требований к характеристикам качества обслуживания в сетях связи с ультрамалыми задержками. Автором работы получены результаты по определению предельного расстояния устойчивого функционирования робота, выявленного ей экспериментальным путем, при изменении затухания используемого в эксперименте оптического аттенюатора, однако из содержания автореферата не ясно, как при этом учитывалось время распространения сигнала по оптической линии, а также влияние отражений, дисперсионных и других характеристик этой длинной линии. В автореферате говорится об использовании модельной сети с возможностью организации до 40 каналов с пропускной способностью до 100 Гбит/с каждый, однако количественная оценка трафика, представленная в таблицах характеристикой «скорость передачи данных» измеряется в бит/с и имеет невысокие порядки, в связи с чем остается не до конца ясной необходимость использования столь высокоскоростных каналов. В тексте автореферата не уточняется, что понимать под серией команд (1 пакет, содержащий  $n$  команд, или  $n$  пакетов –  $n$  команд, передаваемых без получения подтверждения. Из текста автореферата не ясно, эффективность использования какого канала оценивается (в системе используются два канала: клиент-сервер и сервер-клиент, отличающиеся друг от друга). На стр. 12 на рис. 31 «Структура модельной сети сегмента роботов-манипуляторов» показана подключенная к сети передачи камера, которая позволяет оператору следить за выполнением команд роботом-манипулятором. Однако не представлена ни модель использованной

камеры, ни её характеристики, которые, вероятно, должны быть достаточно высокими для удовлетворительной визуальной удаленной оценки выполнения роботом-манипулятором поступающих команд. На стр. 18 при описании разработанного автором сетевого протокола прикладного уровня SRMP не представлено описание форматов сообщений (с описанием используемых в заголовках сообщений полей), используемых этим протоколом для обмена данными. Для разработанного протокола не указан рекомендованный протокол транспортного уровня, который должен обеспечивать передачу данных. На стр. 15 представлена таблица с характеристиками перехваченного сетевого трафика для базового сценария, в то время как далее на 19 стр. представлена таблица с характеристиками трафика, генерируемого при использовании разработанного алгоритма обмена (протокола). Однако не представлены итоги сравнения, показывающие процентный выигрыш от практического внедрения предложенного алгоритма обмена (протокола) для исследуемых характеристик сетевого трафика.

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., профессор М.О. Колбанёв – один из ведущих ученых в области развития сетей и систем телекоммуникаций, имеющий большой опыт и существенные публикации как в целом по проблемам построения сетей и предоставляемых ими услуг, так и в области новых технологий телекоммуникаций. К.т.н., доцент М.С. Степанов работает в Московском техническом университете связи и информатики, хорошо известен 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 теории вероятностей и кибербезопасности, заведующим которой является известный специалист в области сетей связи д.т.н. профессор К.Е. Самуйлов, подписан им и доцентом кафедры, к.ф.-м.н., доцентом И.А. Кочетковой.



Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований поставленная цель по разработке метода управления роботами-манипуляторами по сети связи с ультрамалыми задержками для оптимизации использования канала связи достигнута, в частности: **разработаны** метод управления параметрами обмена и протокол прикладного уровня для роботов-манипуляторов при их взаимодействии с сетью связи; **предложено** для управления роботами по сети связи общего пользования использовать передачу серии команд, число которых оптимизировано по эффективности использования канала связи; **доказано**, что использование нового протокола позволяет повысить эффективность использования сетевых ресурсов, например, при вероятности ошибки выполнения команды роботом 0,001 на величину более чем 74%; **введено** новое понятие протокола прикладного уровня SRMP (Simple Robot Management Protocol).

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что: **доказано** на основе использования критерия Колмогорова–Смирнова, что распределения величин интервалов времени между отправкой IP-пакетов, генерируемых сервером и клиентом в системе робот-манипулятор – сеть, имеют смешанное распределение, включающее в себя экспоненциальное и двухпараметрическое гамма распределения; **применительно к проблематике диссертации результативно использован** комплекс существующих базовых методов исследования, в т.ч. методы теории телетрафика и теории массового обслуживания, теории вероятностей, математической статистики; **изложены** элементы теории сетей связи при предоставлении услуг телеприсутствия, характеристики роботов-манипуляторов, идеи об оптимизации числа пакетов в сети при взаимодействии робота-манипулятора и сети связи общего пользования; **раскрыто** взаимодействие роботов-манипуляторов с сетью и характеристики генерируемого при этом трафика; **изучены** устойчивое функционирование роботов-манипуляторов при их взаимодействии с сетью и взаимосвязь устойчивого функционирования с расстоянием, на котором осуществляется управление роботом по сети связи; **проведена модернизация** известных ранее

характеристик трафика сетей связи с расширением их значений при использовании взаимодействия робот-манипулятор – сеть.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что: разработаны и внедрены** новый протокол прикладного уровня для взаимодействия роботов-манипуляторов с сетью, модельная сеть и методика тестирования взаимодействия роботов-манипуляторов с сетью связи в ПАО «ГИПРОСВЯЗЬ» при разработке «Методики планирования сетей связи при внедрении роботов-манипуляторов», ФГБУ НИИР в рамках выполнения государственных контрактов по научно-техническому и методическому обеспечению выполнения Министерством цифрового развития, связи и массовых коммуникаций функций администрации связи Российской Федерации в части, касающейся международно-правовой защиты интересов Российской Федерации в области электросвязи и радиосвязи в виде предложений по вкладам от имени администрации связи Российской Федерации (Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации) в Сектор стандартизации электросвязи Международного союза электросвязи (МСЭ-Т), в ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургском государственном университете телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича» при чтении лекций и проведении практических занятий по курсам «Тактильный Интернет и интернет навыков», «Сети связи с ультра малыми задержками» и «Системы, сети и устройства телекоммуникаций», а также при выполнении Соглашения о предоставлении из федерального бюджета гранта в форме субсидий, выделяемого для государственной поддержки научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых в российских образовательных организациях высшего образования, научных учреждениях и государственных научных центрах Российской Федерации от «06» июля 2022 г. № 075-15-2022-1137 по приоритетному направлению научно-технологического развития Российской Федерации 20а – Переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта; **определены**

характеристики трафика (количество пакетов/с, средний размер пакета в байтах и скорость передачи данных в бит/с), поступающего на сеть связи общего пользования от роботов-манипуляторов для приложений вакуумного захвата, механического захвата и черчения при использовании существующего протокола с накоплением команд в буфере клиента и протокола SRMP; **создана** методика планирования сетей связи при внедрении роботов-манипуляторов; **представлены** проекты рекомендаций МСЭ-T по новому протоколу для роботов-манипуляторов и их тестированию.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:** для **экспериментальных работ** результаты получены на модельной сети, построенной на сертифицированном оборудовании; **теория** построена на известных, проверяемых данных, фактах, в т.ч. на результатах фундаментальных работ в области теории телетрафика отечественных и зарубежных ученых; **идея базируется** на обобщении передового опыта и использовании неизвестных ранее взаимосвязей; **использованы** сравнение авторских данных и данных, полученных ранее по рассматриваемой тематике; **установлено** качественное и/или количественное совпадение авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике, в тех случаях, когда такое сравнение является обоснованным; **использованы** современные методики сбора и обработки исходной информации.

**Личный вклад соискателя состоит** в том, что основные результаты диссертации получены автором самостоятельно.

В ходе защиты диссертации было высказано следующее критическое замечание о влиянии затухания на коэффициенты доставки пакетов в диапазоне 23,5–23,3 дБ.

Соискатель Горбачева Л.С. в ходе заседания ответила на задаваемые ей вопросы и привела собственную аргументацию.

Диссертационный совет установил, что диссертация «Исследование характеристик трафика и качества обслуживания для роботов-манипуляторов в сетях связи с ультрамалыми задержками» является законченной научно-квалификационной работой и соответствует требованиям п. 9 Положения о

присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а также пунктам 1, 7, 9 и 19 паспорта научной специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

На заседании 29 ноября 2023 года диссертационный совет принял решение присудить Горбачевой Л.С. ученую степень кандидата технических наук за решение научной задачи исследования характеристик трафика и качества обслуживания для роботов-манипуляторов и оптимизации использования канала связи для управления ими, имеющую значение для отрасли цифрового развития и связи, а также для специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 6 докторов наук по научной специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 15, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель диссертационного совета,

доктор технических наук, профессор



Гоголь Александр Александрович

Ученый секретарь диссертационного совета,

кандидат технических наук, доцент



Владыко Андрей Геннадьевич

01 декабря 2023 года