

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.233.05  
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ», МИНИСТЕРСТВО  
ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО  
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ  
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

Решение диссертационного совета от 20 февраля 2018 г. № 3/18  
о присуждении Пастушку Игорю Анатольевичу, гражданину Российской  
Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

**Диссертация** «Исследование и разработка алгоритмов распределения  
ресурсов радиоканала для адаптивной потоковой передачи видеоданных»

**по специальности** 05.12.13 – «Системы, сети и устройства  
телекоммуникаций»

**принята к защите** 19 декабря 2017 года, протокол № 12/17,  
диссертационным советом Д 212.233.05, созданном на базе Федерального  
государственного автономного образовательного учреждения высшего  
образования «Санкт-Петербургский государственный университет  
аэрокосмического приборостроения», Министерство образования и науки  
Российской Федерации, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67,  
приказ №741/нк от 08.07.2015 г.

**Соискатель** Пастушок Игорь Анатольевич, 1992 года рождения,  
гражданин Российской Федерации. В 2014 году соискатель с отличием окончил  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский  
государственный университет аэрокосмического приборостроения». В 2014  
году Пастушок И.А. поступил в аспирантуру очной формы обучения

Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения». В настоящее время Пастушок И.А. обучается в аспирантуре очной формы обучения и работает в должности ассистента кафедры №52 инфокоммуникационных систем ГУАП, Министерство образования и науки Российской Федерации.

**Диссертация выполнена** на кафедре инфокоммуникационных систем Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», Министерство образования и науки Российской Федерации.

**Научный руководитель** – доктор технических наук, профессор Тюрликов Андрей Михайлович, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», кафедра инфокоммуникационных систем, заведующий кафедрой.

**Официальные оппоненты:**

1. Парамонов Александр Иванович, доктор технических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича», кафедра сетей связи и передачи данных, профессор.

2. Муравьева-Витковская Людмила Александровна, кандидат технических наук, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (Университет ИТМО)», кафедра вычислительной техники, доцент.

дали **положительные** отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация** – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича Российской академии наук (ИППИ РАН), г. Москва, в своем **положительном** отзыве, подписанном доктором технических наук, профессором, заведующим лабораторией №18 «Методы анализа и синтеза сетевых протоколов», заместителем директора по научной работе Ляховым Андреем Игоревичем и утвержденным директором ИППИ РАН, доктором физико-математических наук, профессором РАН Соболевским Андреем Николаевичем, указала, что диссертационная работа Пастушка И.А. является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком научном уровне. Поставленная задача связана с исследованием процессов генерации, передачи и хранения цифровой видеоинформации, а также выработкой рекомендаций по разработке новых соответствующих алгоритмов и процедур соответствует паспорту специальности 05.12.13 – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций». Проведенные научные исследования можно характеризовать как научно обоснованные разработки, обеспечивающие решение важных прикладных задач в области передачи видеоданных в беспроводных сетях, что имеет большое практическое значение. Представленные в работе математические и логические выкладки достоверны, выводы и рекомендации теоретически и практически подтверждены.

**Соискатель имеет** 13 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 12 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 2 работы, и 3 работы индексируются в Scopus. Получены акты о внедрении результатов диссертационной работы от двух организаций: ПАО «Интелтех» и ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения». В работах, опубликованных вместе с соавторами, личный вклад соискателя заключается в разработке алгоритмов вычисления граничных значений производительности алгоритмов распределения ресурсов радиоканала для технологий передачи видеоданных по

протоколу HTTP, а также непосредственном проведении экспериментальных исследований. Общий объем научных изданий составляет 6 печатных листов.

Наиболее **значительные научные работы** по теме диссертации:

1. *Пастушок, И.А.* Анализ эффективности использования беспроводных централизованных сетей для передачи неадаптивного видео по протоколу HTTP / И.А. Пастушок, А.М. Тюрликов // *Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление.* — 2017. — Сентябрь. — Т. 10, No 3. — С. 18–31.
2. *Пастушок, И.А.* Обзор передачи и оценок качества восприятия видеоданных при использовании технологии адаптивной передачи видео по протоколу HTTP / И.А. Пастушок // *Информационно-управляющие системы.* — 2017.—Июнь.— Т.3, No88.— С.75–88.
3. *Pastushok, I.* On Interrelation of Video Streaming Characteristics in Centralized Wireless Networks / I. Pastushok, E. Bakin // *IEEE Wireless Communications Letters.* — 2017. — 30 October. — doi: 10.1109/LWC.2017.2767597.
4. *Pastushok, I.* Lower bound and optimal scheduling for mean user rebuffering percentage of HTTP progressive download traffic in cellular networks / I. Pastushok, A. Turlikov // *2016 XV International Symposium Problems of Redundancy in Information and Control Systems (REDUNDANCY).* — 2016. — Sept. — Pp. 105–111.
5. *Bakin, E.* Analysis of capacity of picocell with dominating video streaming traffic / E. Bakin, A. Borisovskaya, I. Pastushok // *Proceedings of 15th Conference of Open Innovations Association FRUCT.* — 2014. — April. — Pp. 3–8.

**На диссертацию и автореферат поступили отзывы из 9 организаций (все отзывы положительные):**

1. АО «Всероссийский научно-исследовательский институт радиоаппаратуры» (подписал начальник научно-технического отдела АО «ВНИИРА», доктор технических наук И.А. Вельмисов). Замечания: 1) из автореферата не ясно как обеспечивается активному пользователю гарантированная доля ресурсов радиоканала; 2) по материалам автореферата не совсем понятно, почему производительность алгоритмов планирования следует оценивать как среднее значение нормированного отношения длительностей буферизации и просмотра.

2. ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет» (подписал профессор кафедры радиофизики, доктор физико-математических наук, профессор Ю.С. Радченко). Замечания: 1) не указано, каким образом в реальных системах может быть достигнуто допущение о непрерывности битовых скоростей сегментов видеоданных; 2) для алгоритма вычисления нижней границы отношения длительностей буферизации и просмотра с учетом средней скорости просматриваемого видеопотока не представлен анализ сложности; 3) Предполагается, что затухание сигнала при распространении происходит одинаково по всей ширине полосы передачи данных. Для широкополосных систем с OFDM – WiFi, WiMax это предположение может не выполняться.

3. ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева» (подписал заведующий кафедрой прикладной математики, доктор технических наук, профессор А.Ю. Привалов) Замечания: 1) в работе используется термин «производительность» по отношению к протоколу (алгоритму) распределения ресурсов радиоканала, мерой которой является количество пользователей, которые могут одновременно получать видео надлежащего качества. Разумеется, это может приводить к увеличению проходящего через радиоканал трафика, и поэтому вполне может характеризоваться как «производительность», однако, термин «эффективность»

по отношению к протоколу кажется автору более уместным; 2) в работе используется допущение о непрерывности битовых скоростей сегментов на видеосервере, однако в реальных системах видеоданные хранятся в дискретном наборе битовых скоростей. Это может внести некоторые особенности в процесс оптимизации; 3) в работе приведена оценка вычислительной сложности алгоритма в зависимости от размера задачи, но не приведены данные о реальных затратах времени на вычисления как в протоколе, предложенном автором работы, так и в протоколах, с которыми он свой протокол сравнивает. Так как все они были реализованы в системе имитационного моделирования, получение таких данных на этой модели не составило бы особого труда, но дало бы лучшее понимание сравнительной сложности протоколов.

4. ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» (подписал заведующий кафедрой бионики и статистической радиофизики, доктор технических наук, профессор А.А. Мальцев). Замечания: 1) Допущение о том, что каждый сегмент видеоданных представлен на сервере в непрерывном отрезке битовых скоростей на практике представляется сложно реализуемым. Как правило, на сервере имеется только некоторый фиксированный конечный набор представлений исходного видео. Хранение файлов со всеми возможными битовыми скоростями требует слишком больших объемов памяти. 2) В тексте автореферата встречаются неточные и жаргонные выражения, например, «критерий жадного выбора», «задача о рюкзаке», «буферизация пользователя» и др. 3) Результаты четвертого раздела диссертации в автореферате сформулированы не совсем четко. Например, на Рис. 3 проведено сравнение производительности известных алгоритмов планирования при передаче видео с рассчитанной автором нижней границей. Однако отсутствуют характеристики предложенного автором алгоритма основанного на двухступенчатом решении невыпуклой оптимизационной задачи (6) с ограничениями общего вида.

5. Филиал ФГУП НИИР – ЛОНИИР (подписал Директор научно-технического центра цифровой обработки изображений Санкт-Петербургского филиала ФГУП НИИР – ЛОНИИР, кандидат технических наук А.М. Синильников) Замечания: 1) в третьем разделе был приведен анализ сложности предложенного алгоритма вычисления нижней границы нормированного отношения длительностей буферизации и просмотра, однако, в четвертом разделе подобный анализ отсутствует; 2) в тексте автореферата не хватает пояснений, почему для адаптивной и неадаптивной технологии передачи видеоданных используются разные критерии качества восприятия.

6. ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» (подписал заведующий кафедрой прикладной математики и кибернетики, доктор технических наук, профессор А.Н. Фионов). Нет существенных замечаний по предоставленной к защите работе.

7. СПбГЭТУ «ЛЭТИ имени В.И. Ульянова (Ленина)» (подписал, доцент кафедры телевидения и видеотехники, кандидат технических наук И.А. Зубакин). Замечания: 1) В автореферате на стр. 12 в одном из допущений для модели алгоритма планирования утверждается, что "в любой момент времени каждому активному пользователю гарантируется минимальная доля ресурсов канала", однако, из автореферата неясно, чему равна минимальная доля и как она определяется. 2) При формализации оптимизационной задачи на стр. 14 (формула 4) отсутствуют необходимые пояснения для условия, при котором ищется минимум. 3) На стр. 14 раскрывается концепция совместного планирования, являющаяся, по мнению автора, научной новизной. Следовало бы также сказать об этом на стр. 5 автореферата, где шла речь о научной новизне. 4) Небрежность при оформлении автореферата: так, в автореферате есть Утверждение 1 на стр. 12, Алгоритм 1 на стр. 14, однако, отсутствуют: Утверждение 2, Алгоритм 2 и т. д. (раз есть 1, то должно быть, по крайней мере, 2); некоторое количество пунктуационных ошибок.

8. ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» (подписал профессор кафедры информатики и информационной безопасности, доктор технических наук, профессор Е.Т. Мирончиков). Замечание: на странице 11 конечномерный случайный вектор называется процессом со свойством эргодичности, такие определения требуют обоснования.

9. ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов» (подписала доцент кафедры прикладной информатики и теории вероятностей, кандидат физико-математических наук, доцент И.А. Гудкова). Замечания: 1) Не пояснено каким образом в оптимизационной задаче, направленной на определение нижней границы нормированного отношения длительностей буферизации и просмотра, учтено влияние конкретного алгоритма планирования; 2) следовало бы сказать несколько слов про функционирование остальных планировщиков, упомянутых при сравнении с разработанным алгоритмом планирования.

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается** их достижениями в области передачи видеоданных по радиоканалу и наличием соответствующих публикаций, в том числе в ведущих журналах и изданиях, определенных Высшей аттестационной комиссией при Минобрнауки России. Выбор ИППИ РАН в качестве ведущей организации обусловлен огромным опытом настоящего учреждения Российской Академии Наук в области проблем передачи информации, а также большим числом публикаций в данной предметной области.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**Разработаны:** Новые подходы к вычислению граничных значений производительности алгоритмов распределения ресурсов радиоканала для адаптивной потоковой передачи видеоданных. Новый алгоритм распределения ресурсов радиоканала, обладающий большей производительностью, чем ранее



известные алгоритмы, для критерия нормированное отношение длительностей буферизации и просмотра при неадаптивной передаче видеоданных по протоколу НТТР.

**Предложены:** Модель беспроводной централизованной сети при передаче видеоданных по протоколу НТТР с учетом изменений во времени характеристик радиоканала. Взаимосвязь характеристик беспроводной централизованной сети и критериев качества воспроизведения видеоданных, описывающая количественное влияние характеристик сети на качество воспроизведения видеоданных. Алгоритмы вычисления нижних границ для критерия нормированного отношения длительностей буферизации и просмотра при неадаптивной технологии передачи видеоданных по протоколу НТТР и критерия отношение длительностей буферизации и просмотра с учетом средней битовой скорости видеопотока для адаптивной технологии.

**доказано** повышение производительности алгоритмов распределения ресурсов радиоканала за счет использования предложенных алгоритмов вычисления нижних границ для рассматриваемых критериев и технологий передачи видеоданных;

**введены** понятия нижней границы нормированного отношения длительностей буферизации и просмотра, нижней границы отношения длительностей буферизации и просмотра с учетом битовой скорости видеопотока, совместного планирования распределения ресурсов радиоканала.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

**доказаны** положения, связанные с вычислением граничных значений производительности алгоритмов планирования при использовании адаптивной и неадаптивной технологий передачи видеоданных по протоколу НТТР, а также обоснована необходимость учета формата представления видеоданных при распределении ресурсов радиоканала на базовой станции;

**применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использован**

комплекс существующих базовых методов исследования, в том числе общие методы теории массового обслуживания, теории вероятностей и математической статистики, теории случайных процессов, а также методы нелинейного выпуклого и невыпуклого программирования;

**изложены** принципы применения методов математической оптимизации при распределении ресурсов радиоканала на базовой станции;

**раскрыты** особенности разработки алгоритмов распределения ресурсов радиоканала для адаптивной потоковой передачи видеоданных по протоколу HTTP;

**изучены** факторы, влияющие на производительность алгоритмов распределения ресурсов радиоканала для адаптивной потоковой передачи видеоданных по протоколу HTTP;

**проведена модернизация** алгоритма распределения ресурсов радиоканала для адаптивной потоковой передачи видеоданных по протоколу HTTP с учетом специфики формата представления видеоданных, что позволило увеличить его производительность.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:**

**разработаны и внедрены** методика вычисления нижней границы для отношения длительностей буферизации и просмотра с учетом средней битовой скорости видеопотока при адаптивной потоковой передаче видеоданных в беспроводных централизованных сетях, которая используется в ПАО «Интелтех» в проекте «Разработка промышленной технологии создания программно-аппаратного комплекса для передачи данных, аудио- и видеоинформации по низкоскоростным и нестабильным каналам связи в реальном масштабе времени», а также в учебном процессе кафедр Безопасности информационных систем и Инфокоммуникационных систем Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения в рамках курсов «Основы построения

инфокоммуникационных систем и сетей», «Методы моделирования и оптимизации» и «Сети и системы мобильной связи», «Общая теория связи» соответственно, о чем имеется 2 акта о внедрении;

**определены** перспективы практического применения разработанных алгоритмов в беспроводных централизованных сетях связи на стороне базовой станции;

**создан** подход к оценке производительности беспроводных централизованных систем связи, позволяющий получить оценку производительности системы в заданном сценарии без использования аппарата имитационного моделирования;

**представлены** предложения по дальнейшему совершенствованию алгоритмов распределения ресурсов радиоканала с учетом типа и особенностей передаваемого трафика.

#### **Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**для экспериментальных работ** результаты получены с использованием системы моделирования NS-3, которая является общепринятым инструментом для анализа и разработки сетевых протоколов и алгоритмов, и согласуются с имеющимися практическими результатами в данной предметной области;

**теория** согласуется с известными теоретическими моделями систем массового обслуживания;

**идея базируется** на обобщении передового опыта ведущих отечественных и зарубежных ученых;

**использованы** результаты сравнения полученных в работе экспериментальных результатов с ранее известными практическими результатами;

**установлено** качественное совпадение результатов работы с результатами независимых источников по тематике работы;

**использованы** современные методики сбора и обработки исходной информации.

**Личный вклад соискателя состоит в непосредственном выполнении всех исследований; получении научных результатов, выводов и рекомендаций; разработке программных комплексов, реализующих предложенные в исследовании алгоритмы; подготовке публикаций по выполненной работе; внедрении новых научных результатов в учебные и промышленные предприятия; апробации результатов исследования.**

На заседании 20 февраля 2018 года диссертационный совет принял решение присудить **Пастушку Игорю Анатольевичу** ученую степень кандидата технических наук по специальности 05.12.13 – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций».

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 9 докторов наук по специальности 05.12.13, участвовавших в заседании, из 22 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение ученой степени – 17, против присуждения ученой степени – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель диссертационного совета Д 212-233-05  
доктор технических наук, профессор



Крук Евгений Аврамович

Ученый секретарь диссертационного совета Д 212-233-05  
кандидат технических наук, доцент

Овчинников Андрей Анатольевич

«20» февраля 2018 года