

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.077.05

на базе федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института проблем передачи информации им. А. А. Харкевича Российской
академии наук по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета
от «23» января 2017 года, протокол № 20

О присуждении Кирьянову Антону Геннадьевичу ученой степени кандидата
технических наук.

Диссертация «Разработка и моделирование методов, применяемых в протоколах канального уровня сетей Wi-Fi для доставки видеопотоков реального времени» по специальности 05.12.13 – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций» (технические науки), принята к защите 13 октября 2016 года, протокол № 15, диссертационным советом Д 002.077.05 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем передачи информации им. А. А. Харкевича Российской академии наук (127051, Москва, Б. Каретный пер., 19, строение 1, приказ о создании диссертационного совета от «10» июля 2015 года № 784/нк, приказ о частичном изменении состава совета от «06» июля 2016 года № 840/нк, приказ о частичном изменении состава совета от «16» декабря 2016 года № 1577/нк)).

Соискатель Кирьянов Антон Геннадьевич, гражданин Российской Федерации 1989 года рождения, в 2013 году окончил с отличием Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)» (далее МФТИ), с 01.09.2013 по 01.09.2017 обучается в аспирантуре МФТИ, работает исполняющим обязанности научного сотрудника лаборатории № 18 - «Методы анализа и синтеза сетевых протоколов» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем передачи информации им. А.А. Харкевича Российской академии наук.

Диссертация выполнена на базовой межфакультетской Кафедре проблем передачи информации и анализа данных МФТИ.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Ляхов Андрей Игоревич, заведующий лабораторией № 18 - «Методы анализа и синтеза сетевых протоколов» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем передачи информации им. А.А. Харкевича Российской академии наук, профессор Кафедры проблем передачи информации и анализа данных МФТИ.

Официальные оппоненты:

1. Степанов Сергей Николаевич, гражданин РФ, доктор технических наук, профессор, исполняющий обязанности заведующего кафедрой «Сети связи и системы коммутации» Ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики» (МТУСИ);
2. Гудкова Ирина Андреевна, гражданка РФ, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры прикладной информатики и теории вероятностей Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов» (РУДН);

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация – «Федеральное государственное учреждение Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук» (ФИЦ ИУ РАН), г. Москва, в своем *положительном* заключении, подписанном доктором технических наук главным научным сотрудником Отдела статистических проблем информатики и управления (Отдел №17 ФИЦ ИУ РАН) Босовым Алексеем Вячеславовичем, старшим научным сотрудником Отдела проблем автоматизации информационных систем специального назначения (Отдел №33 ФИЦ ИУ РАН) Воловичем Константином Иосифовичем, и утвержденном доктором технических наук, заместителем директора ФИЦ ИУ РАН, профессором Александром Алексеевичем Зацаринным, указала, что результаты диссертационной работы рекомендуется использовать в НИР и

НИОКР, направленных на разработку новых высокоскоростных систем беспроводной связи, применяемых для передачи мультимедийной информации, а также в научно-практической и педагогической работе, проводимой в ИППИ РАН, МФТИ (факультет радиотехники и кибернетики), ФИЦ ИУ РАН, ИПС РАН, МИФИ, ГУАП, Университете ИТМО и других научных и производственных организациях, занимающихся исследованиями и разработками в области телекоммуникаций. Отзыв заслушан и одобрен на совместном заседании отделов №17 и №33 ФИЦ ИУ РАН, Протокол №2 от 1 ноября 2016 года.

Соискатель имеет 30 опубликованных работ, из них 12 по теме диссертации, общим объёмом 111 страниц, в том числе 7 в рецензируемых научных изданиях, включенных в перечень изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций. Соискателем опубликовано 5 работ в материалах всероссийских и международных конференций и симпозиумов. Подготовка к публикации полученных результатов проводилась совместно с соавторами. Предложенные алгоритмы и модели были разработаны диссертантом лично. Во всех приведенных работах вклад соавторов заключался в постановке задач, частичном анализе литературы и частичном получении численных результатов.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Anton Kiryanov, Evgeny Khorov, Viacheslav Loginov, Andrey Lyakhov. Head-of-Line Blocking Avoidance in Multimedia Streaming over Wireless Networks // Proc. of 25th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC). IEEE. 2014. Pp. 1142-1146. Индексируется в WoS, Scopus. DOI: 10.1109/PIMRC.2014.7136339.
2. Evgeny Khorov, Anton Kiryanov, Andrey Lyakhov. Analysis of Multiplexed Streaming via Periodic Reservations of Wireless Channel // In Proc. of IEEE International Black Sea Conference on Communications and Networking (BlackSeaCom), Bulgaria, Varna, 6-9 June. IEEE. 2016. Pp. 1-5. Индексируется в Scopus.
3. А.Г. Кирьянов, А.И. Ляхов, Е.М. Хоров. Анализ алгоритмов децентрализованного динамического резервирования канальных ресурсов

для передачи потоковых данных в сетях Wi-Fi // Информационные процессы. 2016. Том 16, №2. С. 207–222. Индексируется Scopus, Springer, WoS.

На диссертацию и автореферат поступило 6 отзывов, *все положительные*. В отзывах указывается, что диссертационная работа написана на высоком научном уровне, содержит достаточную научную новизну, теоретическую и практическую ценность и соответствует специальности 05.12.13 – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций». Диссертация удовлетворяет требованиям «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842, предъявляемых к кандидатским диссертациям по специальности 05.12.13 – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций».

В отзыве ведущей организации имеются следующие замечания.

Разработанная в главе 2 аналитическая модель позволяет определить только долю потерянных пакетов при передаче видеопотоков, в то время как при проведении имитационного моделирования качество полученного видеоизображения оценивается с помощью объективной метрики оценки качества видеоизображения. В диссертации не показана связь между этими величинами.

В главе 4 при исследовании чувствительности разработанной аналитической модели к вероятности неуспешной попытки передачи пакета рассматривается наличие ошибки в оценке вероятности только для одного из получателей, хотя в реальных системах связи каждая из вероятностей будет оценена с некоторой ошибкой.

По тексту диссертации имеются замечания редакционного характера.

Вышеперечисленные недостатки не оказывают влияния на общую положительную оценку работы.

В отзыве официального оппонента доктора технических наук Степанова Сергея Николаевича в качестве замечаний отмечено следующее.

В качестве требований к качеству обслуживания в диссертации рассматриваются ограничения на долю потерянных пакетов и время доставки пакета. Следует пояснить, почему в работе качество обслуживания не оценивается с использованием ограничения на вариацию времени доставки пакета (сетевой джиттер) (глава 1).

В работе не обсуждается физическая природа и связанные с нею параметры кратковременных отказов канала, что, несомненно, важно учитывать при построении аналитической модели передачи видеопотоков (глава 2).

Предложенная во второй главе аналитическая модель р-настойчивой дисциплины обслуживания очереди является слишком детальной, и численный анализ требует использования большого объема вычислительных ресурсов. Вероятно, следовало ввести некоторые допущения, чтобы уменьшить размерность модели.

В работе не оценивается вычислительная сложность расчета стационарных вероятностей цепи Маркова, используемой для вычисления доли потерянных пакетов (глава 2). Не уточняется зависимость решения этой задачи от величины структурных параметров цепи. Неясно, как вычисляется собственный вектор матрицы переходных вероятностей.

Требует дополнительного обоснования выбор исходных данных при проведении численного исследования эффективности предложенных алгоритмов (глава 2-4), а также формулировка предположений, используемых при построении имитационной модели.

Отмечено несколько опечаток (стр. 37, 65, 86, 114).

В отзыве отмечено, что указанные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы Кирьянова А.Г.

В отзыве официального оппонента кандидата физико-математических наук Гудковой Ирины Андреевны указаны следующие замечания:

Диссертационная работа содержит в разделе 1.2 достаточно подробный обзор методов доступа к беспроводному каналу в сетях Wi-Fi, определяемых стандартом IEEE 802.11. Наряду с этим, хотелось бы видеть в диссертации литературный обзор научных работ по исследованию р-настойчивых (P-persistent) алгоритмов случайного доступа к среде для протокола CSMA (Carrier Sense Multiple Access).

В диссертации и автореферате при описании передачи видеопотока на канальном уровне модели взаимодействия открытых систем используется термин «пакет», напр., в главе 1 на стр. 9-10 диссертации или при описании новых научных результатов на стр. 5 автореферата. Необходимо уточнить, что автор понимает под этим термином.

В главе 2 диссертации (стр. 53) и в автореферате (стр. 12) при проведении численного эксперимента требует обоснования выбор алгоритма адаптивного циклического планировщика (Adaptive Round Robin, ARR) для сравнения с разработанной в диссертации улучшенной P-настойчивой политикой управления очередью. Интересным представляется сравнение разработанной улучшенной P-настойчивой политики с известными дисциплинами поллингового обслуживания очередей, например, шлюзовой (gated) или исчерпывающей (exhaustive).

В разделе 2.3 диссертации (стр. 66) для улучшенной P-настойчивой политики обслуживания очереди требуется строгое описание аналитической модели, построенной автором в виде цепи Маркова.

В разделе 2.3 диссертации (стр. 75) при описании численного эксперимента по реализации улучшенной P-настойчивой политики управления очередью отсутствует четкое описание видеофрагмента, передача которого моделируется в среде ns3, в частности, не ясна длительность видеофрагмента.

Отмеченные недостатки не снижают научной ценности полученных в работе результатов.

В отзыве на автореферат доктора технических наук, профессора кафедры «Передачи дискретных сообщений и метрологии» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» (СибГУТИ), декана факультета «Автоматической электросвязи» СибГУТИ **Мелентьева Олега Геннадьевича** в качестве замечания отмечено, что хотя предложенная во второй главе P-настойчивая дисциплина обслуживания очереди разработана для передачи потоков разной интенсивности, в автореферате приведены результаты передачи потоков одинаковой интенсивности. Также текст автореферата содержит слишком краткое описание сценария имитационного моделирования передачи видеопотоков в условиях кратковременных отказов канала, в частности, не ясно, как часто происходят отказы канала указанной длительности и каким образом выбирается момент начала отказа канала. Отмеченные недостатки не влияют на результаты работы и ее общую положительную оценку.

В отзыве на автореферат кандидата технических наук, ведущего инженера по разработке программного обеспечения компании Mentor Graphics (подразделение

Deep SubMicron (DSM)) **Якимова Михаила Юрьевича** в качестве замечания отмечено, что в приведенной в четвертой главе аналитической модели передачи нескольких потоков с помощью общего резервирования ограничение на время доставки пакетов предполагается одинаковым для всех потоков. В общем случае это время может отличаться для различных потоков, в силу того, что время доставки разных потоков от источников до точки доступа может отличаться. Неясно, можно ли обобщить предложенную модель на такой сценарий. Также предложенный метод управления резервированиями разработан для случая передачи только одноадресных потоков. Однако существуют сценарии использования, которые требуют передачи данных одновременно нескольким адресатам, например, голосовая или видеоконференцсвязь. Возможность расширения разработанного метода резервирования на случай передачи многоадресных потоков не рассмотрена. Кроме того, есть замечание редакционного характера. Так, приведенное в автореферате описание алгоритма 2 динамического резервирования канального ресурса слишком краткое и не позволяет полностью понять принцип его работы. Несмотря на имеющиеся замечания, диссертационная работа выполнена на высоком уровне, обладает научной новизной и практической значимостью.

В отзыве на автореферат доктора технических наук, старшего научного сотрудника, заведующего лабораторией Моделирования динамических процессов в информационных сетях Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт вычислительной математики и математической геофизики» Сибирского отделения Российской академии наук **Родионова Алексея Сергеевича** имеются следующие замечания. Ряд рисунков содержит надписи, выполненные слишком мелким шрифтом, что затрудняет их понимание. Первое из положений содержит утверждение о «многократном снижении значения метрики MSE». «Многократное» - это сколько? Из автореферата неясно, как автор получает исходное распределение вероятностей $P_i^{q,u}$ состояний (q,u) в слоте t .

Несмотря на указанные замечания, в отзыве отмечена высокая оценка работы в целом.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обоснован тем, что

- доктор технических наук Степанов Сергей Николаевич является авторитетным специалистом в области телекоммуникаций, одним из ведущих специалистов в области телетрафика и обеспечения качества обслуживания в сетях передачи данных, автором нескольких монографий и множества научных работ в высокорейтинговых изданиях;
- кандидат физико-математических наук Гудкова Ирина Андреевна является специалистом в области управления радиоресурсами в современных беспроводных телекоммуникационных сетях, а также автором большого числа работ по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях;
- ФИЦ ИУ РАН является ведущей организацией Российской Федерации, специализирующейся в научных исследованиях в области информатики и управления, в частности, выполняющей теоретические и прикладные исследования в области интегрированных информационно-телекоммуникационных сетей и систем.

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

предложена новая дисциплина обслуживания очереди канального уровня в сети Wi-Fi для борьбы с кратковременными отказами канала при передаче нескольких видеопотоков реального времени, а также **разработана** аналитическая модель ее работы. Данная дисциплина позволяет предотвратить блокирование очереди головным пакетом, существенно улучшить качество передачи видеопотоков для получателей без отказа канала, а также смягчить последствия ухудшения качества передачи видеопотоков для получателей при отказе канала;

разработаны алгоритмы динамического резервирования канального ресурса при передаче видеопотока реального времени в условиях помех, учитывающие задержку при установлении/отмене резервирования, а также возникающее из-за этого отличие объема фактически занятого канального ресурса (т.е. недоступного для использования соседям владельца и адресата резервирования) от зарезервированного (т.е. доступного для передачи данных между владельцем и адресатом резервирования);

разработана аналитическая модель передачи видеопотока в условиях помех с помощью динамически устанавливаемых резервирований, учитывающая особенности процедуры установления и отмены резервирований при подсчете

объема фактически занятого канального ресурса. С использованием данной модели проведено сравнение эффективности предложенных в диссертации алгоритмов динамического резервирования канального ресурса при передаче видеопотока реального времени в условиях помех;

разработана аналитическая модель передачи нескольких видеопотоков реального времени в условиях помех с помощью общего периодического резервирования, которая позволяет определить оптимальный период резервирования при использовании дисциплины FIFO, а также оценить эффективность от применения общего резервирования для передачи нескольких видеопотоков по сравнению с использованием индивидуальных резервирований для каждого видеопотока.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

изучено влияние кратковременных отказов канала в беспроводной сети на передачу видеопотоков реального времени;

раскрыта особенность определения объема фактически занятого канального ресурса (т.е. недоступного для использования соседям владельца и адресата резервирования) при динамическом резервировании канального ресурса, которая приводит к отличию объема фактически занятого канального ресурса от зарезервированного (т.е. доступного для передачи данных между владельцем и адресатом резервирования);

доказаны утверждения, позволяющие найти значения параметров общего резервирования, позволяющие осуществлять передачу нескольких потоков переменной интенсивности в условиях помех при выполнении заданных требований к качеству обслуживания, используя при этом наименьший объем канальных ресурсов;

изучено влияние частоты рассылки информации о резервированиях на возможность выполнения требований к качеству обслуживания и объем фактически занятого канального ресурса при передаче видеопотока реального времени по беспроводной сети в условиях помех;

применительно к проблематике диссертации **результативно использованы** методы теории вероятностей, теории телекоммуникационных сетей, теории случайных процессов, комбинаторного анализа и имитационного моделирования.

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

разработана аналитическая модель передачи видеопотока реального времени по сети Wi-Fi с использованием динамического резервирования канального ресурса, которая может использоваться на практике для сравнения эффективности различных алгоритмов динамического резервирования ресурса;

представлены рекомендации по использованию общего резервирования для передачи нескольких потоков переменной интенсивности, чувствительных к требованиям к качеству обслуживания;

определена минимальная частота рассылки информации о резервированиях для возможности выполнения требований к качеству обслуживания при передаче видеопотока реального времени по беспроводной сети в условиях помех;

разработаны дисциплины обслуживания очереди, а также алгоритмы динамического резервирования канального ресурса, позволяющие осуществлять передачу мультимедийных данных с выполнением требований к качеству обслуживания, снизив при этом объем занятого канального ресурса;

полученные в диссертации результаты **использованы** в научно-исследовательских работах, выполняемых ИППИ РАН по проектам Отделения нанотехнологий и информационных технологий Российской академии наук, Российского фонда фундаментальных исследований, Российского научного фонда, а также **внедрены** в учебный процесс на Кафедре проблем передачи информации и анализа данных Московского физико-технического института в ИППИ РАН.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

теория построена с использованием известных методов фундаментальных и прикладных наук и согласуется с опубликованными результатами других авторов по тематике диссертации;

идеи базируются на обобщении передового опыта путем анализа работ других авторов в области исследований методов улучшения механизмов беспроводных сетей на уровне доступа к каналу с целью обеспечения требований к качеству обслуживания;

использована современная среда имитационного моделирования NS-3, широко применяемая в научном сообществе для исследования беспроводных и иных

систем связи; результаты, полученные теоретически, с высокой точностью совпадают с результатами имитационного моделирования в среде NS-3.

достоверность полученных результатов обеспечена использованием методик эксперимента, соответствующих современному научному уровню.

Личный вклад соискателя состоит в том, что все предложенные в диссертации алгоритмы и аналитические модели были разработаны диссертантом лично. Соискатель принимал непосредственное участие в постановке задач исследования, получении и анализе численных результатов, а также в апробации результатов исследований на международных и всероссийских конференциях вместе с соавторами.

Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием последовательного плана исследования, непротиворечивой методологической платформы, основной идейной линии, концептуальности и взаимосвязи выводов. По своему содержанию диссертация отвечает паспорту специальности 05.12.13 – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций» в части п. 2 «Исследование процессов генерации, представления, передачи, хранения и отображения аналоговой, цифровой, видео-, аудио- и мультимедиа информации; разработка рекомендаций по совершенствованию и созданию новых соответствующих алгоритмов и процедур» и п. 14 «Разработка методов исследования, моделирования и проектирования сетей, систем и устройств телекоммуникаций».

Диссертационный совет пришёл к выводу о том, что диссертация представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, в которой решена актуальная задача разработки и анализа новых методов канального уровня для доставки мультимедийных данных реального времени по беспроводной сети, имеющая существенное значение для развития сетей передачи данных следующего поколения.

По актуальности, новизне, практической значимости диссертация соответствует требованиям, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 (в редакции

постановления Правительства Российской Федерации от 21 апреля 2016 г. № 335), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук.

На заседании 23 января 2017 года диссертационный совет принял решение присудить Кирьянову Антону Геннадьевичу ученую степень кандидата технических наук по специальности 05.12.13 – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций».

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 27 человек, из них 4 доктора наук по специальности и отрасли наук рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 35 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение учёной степени – 25, против присуждения учёной степени – 2, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель

диссертационного совета Д 002.077.05

Кулешов А.П.

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 002.077.05

Цитович И.И.

23 января 2017 г.