

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 219.001.04 НА БАЗЕ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ СВЯЗИ И ИНФОРМАТИКИ», ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО СВЯЗИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

Аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 28 февраля 2017 г. № 6

О присуждении Анисимову Дмитрию Владимировичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Модель и алгоритмы управления параметрами канального уровня беспроводных сетей стандарта IEEE 802.11, функционирующих в составе распределенных систем» по специальности 05.12.13 – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций», принята к защите 22.12.2016 г., протокол № 11, диссертационным советом Д 219.001.04, созданным на базе ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики» (МТУСИ), Федеральное агентство связи, г. Москва, ул. Авиамоторная, д. 8а, приказ о создании совета – № 244/нк от 03.03.2016 г.

Соискатель Анисимов Дмитрий Владимирович 1979 года рождения, в 2001 году окончил Академию Федерального агентства правительственной связи и информации при Президенте Российской Федерации с присвоением квалификации инженера по специальности «Автоматизированные системы обработки информации и управления». В период подготовки диссертации проходил заочное обучение в аспирантуре Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Государственный университет – учебно-производственный комплекс» (г. Орёл). Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов № 1719 выдано в 2014 году федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Государственный университет – учебно-производственный комплекс» и справка №03/2016 спр., выдана в 2016 году ордена Трудового Красного Знамени федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Московский технический университет связи и информатики». Является сотрудником Феде-

рального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации».

Диссертация выполнена на кафедре Федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации».

Научный руководитель – кандидат технических наук, Дмитриев Сергей Владимирович, сотрудник Федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации».

Официальные оппоненты:

1. Савинков Андрей Юрьевич, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Системы информационной безопасности» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный технический университет»;

2. Султанов Александр Сергеевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, начальник группы системных исследований Акционерного общества «Московский ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский радиотехнический институт»

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Акционерное общество «Концерн «Созвездие», г. Воронеж, в своем положительном заключении, заслушанном и одобренном на заседании научно-технического совета, подписанном начальником научно-технического управления АО «Концерн «Созвездие», доктором технических наук, старшим научным сотрудником Тихомировым Николаем Михайловичем; начальником службы АО «Концерн «Созвездие», доктором технических наук, профессором Толстых Николаем Николаевичем; утвержденном научным руководителем АО «Концерн «Созвездие», доктором технических наук, член-корреспондентом РАН Борисовым Василием Ивановичем указала, что диссертация представляет законченную научно-квалификационную работу, совокупность результатов которой позволяет характеризовать ее как новое решение актуальной научной задачи, состоящей в повышении пропускной способности беспроводных сетей стандарта IEEE 802.11, функционирующих при произвольном режиме нагрузки и наличии помех в радиоканале, за счет управления параметрами канального уровня. Полученные автором диссертации результаты в виде комплекса алгоритмов по настрой-

ке параметров канального уровня беспроводных сетей стандарта IEEE 802.11 и управлению доступом к среде передачи данных рекомендуется к использованию на предприятиях занимающихся разработкой и производством систем широкополосного беспроводного доступа. Разработанная автором математическая модель канального уровня стандарта IEEE 802.11 рекомендуется к использованию при проектировании новых и оценке эффективности функционирования действующих сетей данного стандарта.

Соискатель имеет 13 опубликованных работ, из них в рецензируемых периодических научных изданиях, входящих в перечень ВАК при Минобрнауки РФ 9 работ. Общий объем – 5,5 печатных листов, авторский вклад составляет 78,4 %. При подготовке научных работ соискатель внес определяющий вклад в разработку и исследование математической модели функционирования беспроводной сети стандарта IEEE 802.11. Разработка алгоритма настройки параметров канального уровня, методики оценки остаточной пропускной способности сети и модифицированного алгоритма распределенного доступа к среде передачи данных стандарта IEEE 802.11 принадлежит лично соискателю.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Анисимов Д.В. Решение задач управления сетевыми ресурсами в условиях динамического изменения конфигурации беспроводной сети АСУП / В.Т. Ерёменко, Д.В. Анисимов, Д.А. Плащенков, Д.А. Краснов, С.А. Черепков, А.Е. Георгиевский // Информационные системы и технологии. – 2012. – № 6. – С. 114-119.

2. Анисимов Д.В. Моделирование пропускной способности сегмента беспроводной сети АСУП на базе стандарта 802.11 / В.Т. Ерёменко, Д.В. Анисимов, С.А. Черепков, А.А. Лякишев, П.А. Чупахин // Информационные системы и технологии. – 2013. – № 2. – С. 82-86.

3. Анисимов Д.В. Математическое моделирование беспроводного сегмента вычислительной сети АСУПП / В.Т. Ерёменко, Д.В. Анисимов, Т.М. Парамохина, А.А. Лякишев // Информационные системы и технологии. – 2013. – № 3. – С. 67-72.

4. Анисимов Д.В. Подход к оценке качества предоставления информационных услуг в беспроводной сети передачи данных АСУТП газотранспортного предприятия в условиях воздействия помех и вне протокольных прерываний / В.Т. Ерёменко, Д.В. Анисимов, Д.А. Краснов, С.А. Воробьёв // Информационные системы и технологии. – 2013. – № 4. – С. 96-105.

5. Анисимов Д.В. Моделирование состояний пропускной способности беспроводного канала сети передачи данных газотранспортного предприятия на основе насыщенных цепей Маркова / Д.В. Анисимов // Информационные системы и технологии. – 2013. – № 5. – С. 5-14.

6. Анисимов Д.В. Моделирование процесса сбора и обработки данных в беспроводном сегменте АСУ ТП газотранспортного предприятия / Д.В. Анисимов // Информационные системы и технологии. – 2014. – № 3. – С. 5-10.

7. Анисимов Д.В. Механизм распределенного доступа к среде передачи данных, обеспечивающий стабилизацию пропускной способности на максимальных значениях при высокой нагрузке в сетях стандарта IEEE 802.11 / Д.В. Анисимов // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2016. – №10. – С. 4-11.

8. Анисимов Д.В. Оценка производительности канального уровня стандарта IEEE 802.11 с учетом состояния загруженности элементов сети и влияния помех в распределенных автоматизированных системах управления / Д. В. Анисимов, С.В. Дмитриев, Двилянский А.А. // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2016. – №7. – С. 10-18.

9. Анисимов Д.В. Алгоритм оптимизации параметров канального уровня беспроводной сети стандарта IEEE 802.11, обеспечивающий максимизацию пропускной способности сети / Д.В. Анисимов, С.В. Дмитриев, В.В. Рябоконт // Системы управления и информационные технологии. – 2016. – Т. 64. №2. – С. 67-72.

На диссертацию поступили отзывы:

1. От официального оппонента профессора кафедры «Системы информационной безопасности» ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», д.т.н., доцента Савинкова Андрея Юрьевича. Отзыв положительный и содержит следующие замечания: 1) Первая и вторая глава диссертационной работы содержат избыточную информацию об известных решениях, во всей работе проводятся излишне развернутые словесные описания математических моделей и алгоритмов, уже представленных в виде систем уравнений и блок-схем; 2) Вычислительные затраты, требуемые для реализации предложенного алгоритма распределенного доступа к среде передачи данных стандарта IEEE 802.11, не сопоставлены с вычислительной производительностью типовых аппаратных платформ, используемых для реализации точек доступа IEEE 802.11. Оценка времени вычисления 1.6 с., приведенная в работе для платформы Intel(R) Core (TM) i5 с тактовой частотой 3,4 ГГц, вызывает опасения, что вычисления на точке доступа могут занять десятки секунд.

2. От официального оппонента начальника группы системных исследований АО «Московский ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский радиотехнический институт», к.т.н., старшего научного сотрудника Султанова Александра Сергеевича. Отзыв положительный и содержит следующие замечания: 1) Излишне большой объем в тексте диссертации занимает описание известных и ранее полученных результатов, в большинстве случаев было бы достаточно только указать ссылки на соответствующие источники; 2) При проведении статистического анализа точности имитационного моделирования автором использовался критерий согласия Пирсона, при этом не рассмотрены варианты применения других критериев, например, Колмогорова, Стьюдента; 3) В работе исследования проводятся без привязки к конкретной реализации физического уровня стандарта IEEE 802.11, то есть не указывается, какие именно применяются сигнально-кодовые конструкции; 4) В таблице 3.1 диссертации значения оптимального количества попыток передач пакета приводятся при наличии ограничения на максимальный размер окна конкуренции. В связи с чем, не совсем понятно, откуда взято это ограничение, и какое численное значение имеет максимальный размер окна конкуренции для сетей стандарта IEEE 802.11; 5) В работе имеются пунктуационные ошибки.

3. От ведущей организации – АО «Концерн «Созвездие». Отзыв положительный и содержит следующие замечания: 1) В главе 2 диссертационной работы при определении вероятности коллизий автором рассматриваются два варианта: первый – когда сеть состоит из статистически "однородных" станций и второй – когда сеть состоит из статистически "неоднородных" станций стандарта 802.11, при этом второй вариант является более общим. В связи с чем, не совсем понятно с какой целью рассматривается первый вариант; 2) В работе численные результаты моделирования представлены только на примере спецификации 802.11b, при этом не приведены результаты расчетов (хотя бы для примера) для других спецификаций, например 802.11a/n/g. Также в работе в явном виде не приводятся выводов о возможности использования полученных результатов, а именно разработанных алгоритмов, в других спецификациях стандарта 802.11 (кроме 802.11b), например 802.11n; 3) В работе для проверки адекватности разработанной математической модели MAC-уровня стандарта IEEE 802.11 автор использует среду имитационного моделирования (симулятор) OpNet. На наш взгляд наилучшим решением являлось бы проведения натурального эксперимента и сравнении (по возможности при равных условиях) его результатов с результатами математического моделирова-

ния; 4) Математическое моделирование MAC-уровня стандарта IEEE 802.11 в работе проводится только для механизма доступа с распределённой функцией координации (Distributed Coordination Function, DCF) (автор обосновывает это тем, что данный механизм наиболее широко распространён при организации Wi-Fi сетей), при этом механизму с дополнительной точкой функции координации (Point Coordination Function, PCF), по нашему мнению, не уделено должного внимания.

На автореферат поступили 18 положительных отзывов: ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики», ФГУН «Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН»; «Военная академия связи им. С.М. Буденного»; «Ярославское высшее военное училище противовоздушной обороны»; ФГУП Научно-исследовательский институт радио Санкт-Петербургский филиал «Ленинградское отделение Научно-исследовательского института радио»; АО «Научно-производственное предприятие «Рубин»; ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича»; ООО «ТехАргос СпецТелеком»; АО «Научно-исследовательский институт «Рубин»; ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»; ФГБНУ «Государственный научно-технологический центр «Наука»; ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева»; АО «Воронежский научно-исследовательский институт «Вега»; ПАО «Гипросвязь»; ПАО «Информационные телекоммуникационные технологии»; ФГБОУ ВО «Московский технологический университет»; ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»; ФГУП «Научно-исследовательский институт радио».

Замечания, полученные в отзывах на автореферат, представлены в следующем обобщенном виде: 1) Не приведена схема алгоритма настройки параметров канального уровня беспроводной сети стандарта IEEE 802.11, что не дает возможности исчерпывающе понять механизм его реализации; 2) Автором используется выражение "повышение пропускной способности", однако в большинстве источников под пропускной способностью понимается максимально возможная скорость передачи данных для конкретной реализации протокола. Возможно, было бы корректней использовать термин «реальная пропускная способность», который отражал бы возможную скорость передачи данных с учетом влияющих на данный показатель факторов (воздействие помех, количество станций в сети и т.п.); 3) Использование модели M/M/1 для анализа работы станции, как устройства массового обслуживания, выглядит достаточно архаично, т.к. существуют веские доказатель-

ства того, что трафик сети Wi-Fi отличается от пуассоновского. С другой стороны, весьма привлекательная марковская модель изменения состояний станций, разработанная в диссертации. В связи с этим возникает вопрос – возможно ли использование данной марковской модели при не пуассоновском характере трафика; 4) По приведенному в автореферате краткому описанию модифицированного алгоритма распределенного доступа к среде передачи данных стандарта IEEE 802.11 затруднено понимание его реализации; 5) Результаты моделирования, приведенные в автореферате (в частности, рисунки 3-6), получены для конкретной версии стандарта IEEE 802.11b. Моделирование для более актуальных версий, например для 802.11n не проводилось; 6) В автореферате указано, что автором разработаны научно-технические предложения по практическому использованию разработанного алгоритма распределенного доступа в радиооборудовании сетей стандарта IEEE 802.11, при этом не приводятся конкретные схемотехнические решения такой реализации; 7) Помимо режима DCF в сетях стандарта IEEE 802.11 используется режим PCF (Point Coordination Function, с функцией централизованной координации), в связи с чем возникает вопрос о применимости предлагаемого подхода для этого режима; 8) Из автореферата не совсем понятен смысл применения в модифицированном алгоритме распределенного доступа к беспроводному каналу дополнительных этапов повторной передачи пакетов; 9) Отсутствует оценка влияния разработанного модифицированного алгоритма распределенного доступа к среде передачи данных для сетей стандарта IEEE 802.11 на такой параметр QoS, как джиттер, что позволило бы наиболее полно оценить выигрыш от применения предложенного алгоритма; 10) Не понятно чем аргументированы ограничения, вводимые на длину пакета и вероятность повреждения кадра помехой в полученных результатах; 11) Из автореферата не понятно в чем заключается учет требований к качеству обслуживания передаваемого трафика (QoS) по показателю пропускной способности в модифицированном алгоритме распределенного доступа к среде передачи данных стандарта IEEE 802.11; 12) Из автореферата не понятно предлагаемый модифицированный алгоритм распределенного доступа к среде передачи данных стандарта IEEE 802.11 предполагает обратную совместимость с уже существующей реализацией или нет; 13) В автореферате не приведены вероятности перехода между состояниями разработанной математической модели процесса функционирования беспроводной сети стандарта IEEE 802.11 на MAC-уровне. При этом данные вероятности ложатся в основу выражений для определения вероятностей передачи и коллизий для каждой станции сети; 14) Из содержания автореферата не понятно

проводилось или нет исследование точности моделирования; 15) В пятой главе с целью проверки адекватности математической модели процесса функционирования беспроводной сети стандарта IEEE 802.11 на MAC-уровне, а, следовательно, оценки достоверности полученных результатов, проводится имитационное компьютерное моделирование. Оценки целесообразнее было бы провести на основе натурального эксперимента, а также в сравнении с известными статистическими результатами; 16) Из автореферата не ясны технические параметры сети, имитированной при проведении моделирования, что не позволяет судить об общности результатов моделирования и возможности их распространения на широкий класс сетей.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается следующими обстоятельствами:

1. Доктор технических наук, доцент Савинков Андрей Юрьевич является крупным специалистом в области анализа действующих и перспективных систем телекоммуникаций. В сфере научных интересов Савинкова А.Ю. также находятся вопросы построения и исследования (в том числе математического моделирования) беспроводных сетей передачи данных стандарта IEEE 802.11, лежащие в основе диссертационного исследования Анисимова Д.В. Его работы по тематике диссертационного исследования опубликованы в ведущих отечественных изданиях.

2. Кандидат технических наук, старший научный сотрудник Султанов Александр Сергеевич является крупным специалистом в области проектирования и анализа современных систем радиосвязи. В сфере научных интересов Султанова А.С., в частности, находятся вопросы повышение эффективности функционирования (оптимизация построения) систем широкополосного беспроводного радиодоступа, которые являются одним из важных аспектов диссертационного исследования Анисимова Д.В. Его работы по тематике диссертационного исследования опубликованы в ведущих отечественных изданиях.

3. Ведущая организация – Акционерное общество «Концерн «Созвездие» известна своими работами в области разработки, анализа и моделирования, действующих и перспективных систем беспроводной связи, в том числе систем стандарта IEEE 802.11.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана новая математическая модель процесса функционирования беспроводной сети стандарта IEEE 802.11 на MAC-уровне, базирующаяся на математическом аппарате цепей Маркова и отличающаяся от известных учетом состояния загрузки станций сети и возможного искажения передаваемых пакетов в результате воздействия помех;

подтверждена возможность использования разработанной модели для оценки показателей производительности существующих и разрабатываемых беспроводных сетей стандарта IEEE 802.11;

разработан новый алгоритм настройки параметров канального уровня (за счет поиска их оптимальных значений) беспроводной сети стандарта IEEE 802.11, обеспечивающий повышение пропускной способности сети и отличающийся от известных:

- учетом при оптимизации нескольких параметров протокола (размер начального «окна конкуренции» и количество повторных попыток передачи пакета);
- обеспечением поиска как оптимальных (по критерию максимума пропускной способности сети), так и рациональных (при наличии ограничений на максимальный размер окна конкуренции и относительный прирост пропускной способности сети) значений параметров стандарта, обеспечивающих повышение пропускной способности сети.

В зависимости от условий функционирования сети (трафиковая нагрузка, конфигурация сети, помеховая обстановка) выигрыш (по показателю пропускной способности) от применения алгоритма может достигать до 30% для базового механизма доступа и до 12% для RTS/CTS механизма доступа в сравнении с показателями, полученными для значений параметров канального уровня, рекомендованных стандартом 802.11;

предложена новая методика оценки остаточной пропускной способности беспроводного канала стандарта IEEE 802.11, позволяющая рассчитать его пропускную способность в насыщенном и ненасыщенном состояниях, и обеспечивающая формирование решающего правила (критерия) по допуску в канал нового информационного потока, с целью исключения перегрузки канала;

разработан модифицированный алгоритм распределенного доступа к среде передачи данных стандарта IEEE 802.11, учитывающий состояние загрузки станций сети и обеспечивающий стабилизацию пропускной способности сети на максимальных значениях в режиме высокой нагрузки. Алгоритм отличается от известных учетом требований к качеству обслуживания передаваемого трафика

(QoS) по показателю пропускной способности и формированием дополнительных этапов повторной передачи для трафика, требовательного к надежности передачи. Алгоритм может использоваться как при проектировании новых, так и при модернизации (повышении эффективности функционирования) уже существующих систем беспроводного доступа стандарта IEEE 802.11.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:
применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использованы методы теории вероятностей, математической статистики, системного анализа, методы нелинейного целочисленного программирования и имитационного моделирования;
предложена и исследована модель процесса функционирования беспроводной сети стандарта IEEE 802.11 на MAC-уровне, позволяющая оценить основные показатели производительности сети с учетом уровня загруженности ее станций и возможного искажения передаваемых пакетов в результате воздействия помех;
раскрыты и изучены вопросы, связанные с использованием математического аппарата цепей Маркова для проведения моделирования беспроводных сетей стандарта IEEE 802.11;
изложены подходы по повышению пропускной способности беспроводных сетей стандарта IEEE 802.11 на MAC-уровне за счет оптимизации значений параметров канального уровня (размер начального "окна конкуренции" и количество повторных попыток передачи пакета);
проведена модернизация существующего алгоритма распределенного доступа к среде передачи данных стандарта IEEE 802.11 в части реализации механизма предотвращения перегрузок в сети и стабилизации пропускной способности сети на максимальных значениях в режиме высокой нагрузки.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что полученные результаты использованы ООО «НТЦ Космос-Нефть-Газ» и ООО «Специальный технологический центр» при разработке модуля активного мониторинга точек радиодоступа и абонентских терминалов сетей стандарта IEEE 802.11 (в рамках составной части ОКР «Астра-В»). Предлагаемые в диссертационной работе решения по повышению производительности беспроводных сетей стандарта IEEE 802.11 реализованы в программном средстве управления ресурсами в среде корпоративного портала. Представлены рекомендации по реализации в сетевом оборудовании предложенного алгоритма распределенного доступа к среде передачи данных стандарта IEEE 802.11. Полученные тео-

ретические и практические результаты подтверждаются соответствующими актами и свидетельством.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что результаты обоснованы корректным применением строгих и апробированных математических методов исследования и подтверждены численными результатами имитационного компьютерного моделирования; **теория** построена на известных и общепринятых научных положениях, на адекватном использовании в качестве методической основы теории вероятностей и математической статистики; **идея базируется** на анализе и использовании знаний о существующих подходах к моделированию беспроводных сетей передачи данных IEEE 802.11; **использованы** методологические подходы известных ученых, занимающихся исследованием и развитием беспроводных систем связи стандарта IEEE 802.11.

Личный вклад соискателя состоит в проведении теоретических исследований, разработке новой модели процесса функционирования беспроводной сети стандарта IEEE 802.11 на MAC-уровне; разработке нового алгоритма управления параметрами канального уровня; разработке нового алгоритма распределенного доступа к среде передачи данных для сетей стандарта IEEE 802.11; проведении компьютерного имитационного моделирования; апробации результатов исследования на 4-х научно-технических конференциях, в том числе международных, в подготовке 9-ти публикаций по результатам диссертационного исследования.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 7 докторов наук по профилю защищаемой диссертации, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение ученой степени – 16, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель

диссертационного совета Д 219.001.04

Аджемов Артём Сергеевич

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 219.001.04

Терешонок Максим Валерьевич

« 28 » февраля 2017 г.

