

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.384.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ»,
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

Решение диссертационного совета от 01 октября 2024 г. № 4/24 о присуждении Борисовской Анне Владимировне, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Модели систем Интернета вещей со случайным доступом и зависимыми источниками»

по специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций принята к защите 02 июля 2024 года, протокол № 2/24, диссертационным советом 24.2.384.01, созданным на базе Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» (ГУАП), Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А, приказ № 741/нк от 08 июля 2015 г.

Соискатель Борисовская Анна Владимировна, 12 июня 1990 года рождения, гражданка Российской Федерации, работает старшим преподавателем кафедры инфокоммуникационных технологий и систем связи Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» (ГУАП), Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

В 2012 году с отличием закончила ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» по специальности «Комплексная защита объектов информатизации» (диплом

специалиста с отличием ОК №20130 от 02 июля 2012 года, регистрационный номер 71574).

Также в период подготовки диссертации обучалась в аспирантуре по очной форме в ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», направление подготовки 09.06.01 «Информатика и вычислительная техника». Диплом об окончании аспирантуры 107827 0000472 от 01 июля 2022 года (регистрационный номер 96а).

Удостоверение №10 о сдаче кандидатских экзаменов по истории и философии науки и иностранному языку (английскому) и справка №11 об обучении (периоде обучения) и о сдаче кандидатского экзамена по специальности 2.2.15 Системы, сети и устройства телекоммуникаций выданы Борисовской А.В. ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» 11.06.2024 г.

Диссертация выполнена на кафедре инфокоммуникационных технологий и систем связи Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения».

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Тюрликов Андрей Михайлович, основное место работы – федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», заведующий кафедрой инфокоммуникационных технологий и систем связи.

Официальные оппоненты:

1. Ляхов Андрей Игоревич, доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией №18 федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича Российской академии наук (ИППИ РАН), г. Москва;

2. Викулов Антон Сергеевич, кандидат технических наук, руководитель направления беспроводных решений отдела беспроводных решений общества с ограниченной ответственностью «Лаборатория Кьютэк», г. Москва,

дали **положительные** отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (РУДН), г. Москва, в своем **положительном** отзыве, подписанном заведующим кафедрой теории вероятностей и кибербезопасности РУДН, доктором технических наук, профессором Самуйловым К.Е. и доцентом кафедры теории вероятностей и кибербезопасности РУДН, кандидатом физико-математических наук, доцентом Кочетковой И.А., утвержденном первым проректором – проректором по научной работе РУДН им. Патриса Лумумбы, доктором медицинских наук, профессором, членом-корреспондентом РАН Костиным А.А., указала, что диссертация «Модели систем Интернета вещей со случайным доступом и зависимыми источниками» Борисовской А.В. является завершенной научно-квалифицированной работой, содержание которой соответствует пунктам 1, 8 и 18 паспорта специальности 2.2.15 – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций». Полученные автором результаты отличаются научной новизной и практической значимостью. Результаты апробированы на научных конференциях и симпозиумах и достаточно полно опубликованы в ведущих российских и зарубежных изданиях. Диссертационная работа соответствует критериям, которые установлены пунктами 9-14 Положения о порядке присуждении ученых степеней (утв. Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842), предъявляемым в отношении диссертаций на соискание ученой степени кандидата технических наук, а её автор Борисовская Анна Владимировна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15 – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций».

Соискатель имеет 11 опубликованных работ по теме диссертации, из них: в рецензируемых научных изданиях, включенных в перечень ВАК, опубликовано 4 работы (из них две работы опубликованы без соавторства); в изданиях, включенных в перечень Scopus, опубликовано 3 работы; в сборниках тезисов докладов опубликовано 3 работы; получено одно свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Общий объем авторского вклада в работы (без результатов интеллектуальной собственности, а именно свидетельства о программе на ЭВМ) составляет 2,69 печатных листов из общего количества 4,06 печатных листов. Получены акты о внедрении результатов диссертационной работы в АО «Концерн «Гранит-Электрон», ООО «Научно-производственное объединение программные комплексы реального времени» и ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения».

Наиболее значительные научные работы по теме диссертации.

Публикации в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Борисовская, А. В. Методика определения числа сенсоров в системах мониторинга экологической обстановки с использованием LPWAN сетей / Борисовская А. В., Тюрликов А. М. // Вопросы радиоэлектроники. Серия Техника телевидения. 2022. — Т. 3. — С. 93–100. (объем 0,5 п.л. / авторский вклад 0,313 п.л.)

Личный вклад: соискателем введен показатель качества работы систем мониторинга с зависимыми источниками (среднее число успешно переданных сообщений об одном событии) и предложен способ оценки этого показателя. Для данных систем разработана методика определения близкого к оптимальному числа сенсоров при заданных параметрах системы.

2. Борисовская, А. В. Определение вероятности доставки информации о событии в системах мониторинга на основе сетей, построенных по технологии LoRaWAN / Борисовская А. В. // Успехи современной радиоэлектроники. — 2022. — Т. 76, № 12. — С. 82–89. (объем 0,5 п.л. / авторский вклад 0,5 п.л.)

Личный вклад: соискателем предложена модель систем мониторинга,

отражающая особенности технологии LoRa, и показатель качества работы таких систем, который позволяет формулировать оптимизационные задачи и определять наилучшие параметры.

3. Борисовская, А. В. Оценка среднего возраста информации в системах со случайным доступом и множественным выходом / Борисовская А. В., Тюрликов А. М. // Информационно-управляющие системы. — 2023. — Т. 1. — С. 51–60. (объем 0,625 п.л. / авторский вклад 0,375 п.л.)

Личный вклад: соискателем предложен способ оценки среднего возраста информации для систем со случайным доступом и множественным выходом. Показано, что в таких системах средний возраст информации, как и средняя задержка, конечен при любой интенсивности входного потока.

4. Борисовская, А. В. Модели сенсорных сетей с зависимыми источниками / Борисовская А. В. // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. — 2023. — Т. 17, № 7. — С. 21–28. (объем 0,5 п.л. / авторский вклад 0,5 п.л.)

Личный вклад: соискателем введены два класса моделей для систем Интернета вещей с зависимыми источниками: модели с появлением абонентов и модели с появлением событий. Разработана обобщенная система допущений для обоих классов моделей. Предложена модель, максимально упрощенная с точки зрения аналитического анализа, но сохраняющая основные свойства систем Интернета вещей с зависимыми источниками.

Публикации в изданиях, индексируемых SCOPUS:

5. Borisovskaya, A. Reducing energy consumption in the IoT systems with unlimited number of devices / A. Borisovskaya, A. Turlikov // Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF). — 2021. — Pp. 1–6. (объем 0,375 п.л. / авторский вклад 0,188 п.л.)

Личный вклад: соискателем предложен подход, который позволяет уменьшить среднее число повторных передач в системах Интернета вещей с потенциально неограниченным числом устройств.

6. Borisovskaya, A. Estimation of average delay in systems with unsourced random access and multiple departure / A. Borisovskaya, A. Glebov, A. Turlikov // XVII International Symposium on Problems of Redundancy in Information and

Control Systems. — 2021. — Pp. 28–33. (объем 0,375 п.л. / авторский вклад 0,188 п.л.)

Личный вклад: соискателем предложены модели для построения верхней и нижней оценок средней задержки для систем со случайным доступом и множественным выходом абонентов из системы в случае успешной передачи.

7. Borisovskaya, A. Numerical Calculation of Random Access Characteristics for Sensors with Correlated Activation / A. Borisovskaya, A. Turlikov, A. Fonfrygin // Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF). — 2022. — Pp. 1–5. (объем 0,313 п.л. / авторский вклад 0,188 п.л.)

Личный вклад: соискателем предложен подход для вычисления среднего числа успешно переданных сообщений в окне, позволяющий определять близкое к оптимальному число сенсоров в системах мониторинга.

В диссертации Борисовской А.В. отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных работах соискателя, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

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

1. Акционерное общество «Научно-исследовательский институт «Вектор» (подписал начальник научно-исследовательской лаборатории 411 научно-технического отдела 41 научно-технического центра 4, кандидат технических наук, доцент Подстригаев Алексей Сергеевич). Замечания: 1. В автореферате при описании первого раздела диссертации отмечается: «Также в этом разделе предлагается использовать упрощенную модель с зоной действия базовой станции в виде окружности для изучения свойств моделей с зависимыми источниками. Данная модель легче анализируется и при этом сохраняет основные свойства систем с зависимыми источниками.», но не конкретизируется о каких свойствах систем идет речь. 2. В порядке изложения общей характеристики работы в автореферате, допущена техническая ошибка, а именно предложение «В работах, опубликованных в соавторстве,

соискателю принадлежит основная роль в решении задач» приведено в подразделе «Соответствие диссертации паспорту научной специальности» вместо подраздела «Личный вклад».

2. Акционерное общество «Российский институт мощного радиостроения» (подписали главный научный сотрудник НТО-00200, доктор технических наук, старший научный сотрудник Егоров Владимир Викторович и начальник НТЛ-00220, кандидат технических наук Тимофеев Александр Евгеньевич). Замечание: В диссертации используются упрощенные модели зоны действия базовой станции в виде окружности, что характерно для открытой местности, не учитывающие возможное влияние на среднее время задержки установления канала связи в сети, на вероятность доведения информации, препятствий для распространения радиоволн, а также помех от наложения на принимаемый сигнал переотраженных волн.

3. ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» (подписал профессор кафедры информационных систем и технологий, доктор технических наук, профессор Привалов Александр Юрьевич). Замечания: 1. На стр. 12 в приближённом выражении для средней задержки используется величина, обозначенная Λ , ранее в автореферате не определённая. В разделе 3 определяется Λ , но там рассматривается другая модель, понятие события существенно в этом определении, а в предыдущей модели понятия события не было, так что непонятно, это та же Λ , что была ранее, или другая. 2. Для такой важной в данной работе характеристики, как средний возраст информации в автореферате отсутствует определение (или хотя бы пояснение), а поскольку эта характеристика начала использоваться не так давно, то автору отзыва это определение не известно. Это досадно, так как график у этой величины, приведённый в автореферате, очень интересный. 3. На стр.18, в 6-ой строке сверху опечатка – там должно быть **S8-S12** (но в других местах указано правильно).

4. Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского (подписал заведующий кафедрой статистической радиофизики и мобильных

систем связи радиофизического факультета, доктор физико-математических наук, профессор Мальцев Александр Александрович). Замечания: 1. Допущения, представленные в Табл. 1 предполагают отсутствие шума в канале. При этом не проанализировано (например, путем численного моделирования) насколько результаты, представленные в Табл. 3, будут отличаться для случая, когда в канале присутствует шум. 2. Некоторые формулировки излишне повторяют друг друга. Например, упоминание о двух направлениях исследований (для систем с фиксированным и систем с неограниченным числом устройств) представлено на стр. 3, а затем повторяется на нескольких последующих страницах.

5. Федеральное государственное бюджетное учреждение «Ордена Трудового Красного Знамени Российский научно-исследовательский институт радио имени М.И. Кривошеева» (ФГБУ НИИР) Санкт-Петербургский филиал – «ЛОНИИР» (подписал главный инженер научно-технического центра спутниковых систем связи, радиомониторинга и вещания, кандидат технических наук Синильников Александр Михайлович). Замечания: 1. На стр. 4-10 не уточняется, что означает фраза «множественный выход». 2. Сама идея того, что из рядом находящихся абонентов может передавать только один, требует дополнительных обоснований и отражений на практике. Например, если два находящихся рядом сенсора передают изображения от камер, направленных в разные стороны, то в таком случае необходимо передавать данные от обоих устройств.

6. ФГАОУ ВО Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет) (подписал доцент кафедры мультимедийных технологий и телекоммуникаций, кандидат технических наук Ляшев Владимир Александрович). Замечания: 1. В автореферате отмечается, что в четвертом разделе рассматривается модель системы, построенная на основе технологии LoRa, но не обосновывается, почему не рассматриваются другие технологии LPWAN сетей, например NB-Fi (ГОСТ Р 70036-2022) или лидер коммерческого рынка сенсорных IoT от компании SigFox. 2. В классе моделей с появлением абонентов автор ограничился

рассмотрением только одной модели – модели с множественным выходом. 3. В автореферате нет краткого сравнительного анализа производительности state-of-art систем множественного доступа интернета вещей (massive-IoT) в рамках модельного эксперимента на основе предложенных событийных моделей.

7. Акционерное общество «Научно-исследовательский институт телевидения» (подписали главный научный сотрудник, заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор Кузичкин Александр Васильевич, ученый секретарь, кандидат технических наук, старший научный сотрудник Ковальчук Виктор Сергеевич). Замечание: В работе содержится сравнительный анализ существовавших ранее работ по исследованию систем Интернет вещей с зависимыми источниками (п. 1 Заключения), но не приведены сведения, соответствующие п. 10 Положения о порядке присуждения ученых степеней, согласно которому «Предложенные автором диссертации решения должны быть аргументированы и оценены по сравнению с другими известными решениями». Более того, для оценки практической значимости диссертаций по техническим наукам такое сравнение должно сопровождаться количественными характеристиками достигнутых результатов.

8. Автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования «Сколковский институт науки и технологий» (подписал доктор физико-математических наук, профессор Фролов Алексей Андреевич). Замечания: 1. Несмотря на то, что работа посвящена проблеме массового межмашинного взаимодействия (ММВ), в ней нет ни одного упоминания подхода, получившего название случайный доступ без идентификации источника (англ. unsourced random access), предложенного специально для проблемы ММВ и наиболее полно отражающего ключевые особенности этой проблемы. 2. В автореферате необходимо привести определение понятия возраст информации. 3. На мой взгляд, представление моделей в виде Таблиц 1 и 2 является неудачным. Данные таблицы невероятно сложны в чтении. 4. Не ясно как модели M1 и M2 связаны с изначальной моделью M0. В частности,

почему данные модели могут быть использованы для того, чтобы делать какие-то выводы относительно изначальной модели. 5. Слово «подоптимальный», произошедшее от англ. suboptimal является неудачным. 6. В работе упоминается технология LoRa, но отсутствует подробное описание того, как предложенные модели можно интегрировать с реальными существующими стандартами и протоколами. Также остаются открытыми вопросы универсальности разработанных подходов, которые упомянуты автором для различных моделей SF в разделе 4.

9. Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) (подписал профессор кафедры теоретических основ радиотехники, кандидат технических наук, доцент Сергиенко Александр Борисович). Замечания: 1. В автореферате отсутствует определение показателя «средний возраст информации». 2. В модели системы мониторинга, учитывающей особенности технологии LoRa (раздел 4), предполагается, что сеть располагается на открытой местности, что существенно ограничивает применимость модели, так как системы Интернета вещей востребованы и в плотной городской застройке.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается фундаментальным характером научных исследований, большим опытом и достижениями в области разработки современных телекоммуникационных систем и наличием соответствующих публикаций, в том числе в ведущих журналах, определенных ВАК при Минобрнауки России. Выбор ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (РУДН), в качестве ведущей организации обусловлен большим опытом данного учреждения в области исследования современных и перспективных сетей и систем связи, а также большим числом публикаций в данной предметной области.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана классификация моделей (два класса: модели с появлением абонентов и модели с появлением событий), позволяющая описывать,

анализировать и сравнивать между собой различные системы массовой межмашинной связи с зависимыми источниками;

предложены способы оценки таких показателей качества, как средняя задержка и средний возраст информации, для модели с появлением абонентов, позволяющие исследовать зависимость этих показателей от параметров модели с помощью имитационного моделирования, а для средней задержки получать верхнюю оценку в явном виде;

доказано, что учет зависимости данных от разных источников в системах Интернета вещей с большим числом устройств позволяет снизить среднюю задержку и повысить вероятность доставки;

введены модели с появлением событий, в том числе модель, учитывающая особенности технологии LoRa.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказано, что существует возможность повысить качество работы систем мониторинга с большим числом устройств за счет учета зависимости данных от разных источников;

применительно к проблематике диссертации результативно и эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов использованы методы теории случайного множественного доступа, а также методы теории вероятностей и математической статистики, теории случайных процессов, теории Марковских цепей, методы численного анализа и методы имитационного моделирования;

изложены рекомендации по выбору числа устройств для максимизации такого показателя качества, как среднее число успешно переданных сообщений об одном событии;

раскрыты особенности влияния зависимости данных от разных источников на показатели качества работы систем Интернета вещей с большим числом устройств, в том числе потенциально неограниченным;

изучены особенности различных технологий, используемых в современных системах Интернета вещей.

проведена модернизация модели с появлением абонентов для возможности анализа влияния особенностей размещения устройств с разными коэффициентами расширения спектра на эффективность работы систем мониторинга, построенных по технологии LoRa.

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

разработаны и внедрены обобщенная система допущений для моделей систем Интернета вещей со случайным доступом и зависимыми источниками в рамках научно-исследовательской деятельности ФГАОУ ВО ГУАП; модели для построения верхней и нижней оценок средней задержки в системе со случайным доступом, зависимыми источниками и множественным выходом абонентов из системы и исследование зависимости этого показателя от интенсивности входного потока в опытно-конструкторские работы АО «Концерн «Гранит-Электрон»; модели и методики, позволяющие формулировать и решать оптимизационные задачи для выбора числа сенсоров в системах мониторинга, в которых зависимость передаваемых данных возникает за счет обнаружения разными сенсорами одного и того же события, в опытно-конструкторские работы ООО «Научно-производственное объединение программные комплексы реального времени»;

определены перспективы практического применения результатов исследования для выбора параметров систем Интернета вещей на этапах их проектирования;

создана имитационная модель систем Интернета вещей со случайным доступом и зависимыми источниками для оценки показателей качества их работы;

представлены предложения по дальнейшему совершенствованию предложенных моделей и способов оценки показателей качества систем Интернета вещей.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ результаты получены с применением компьютерного моделирования, а также подробно описаны условия и результаты экспериментов, показана воспроизводимость результатов исследования в различных условиях;

теория согласуется с известными ранее результатами в области теории случайного множественного доступа;

идея базируется на том, что учет зависимости данных от разных источников позволяет уменьшить вероятность возникновения конфликтов в системах со случайным множественным доступом;

использованы результаты сравнения авторских данных и данных, полученных ранее по рассматриваемой тематике;

установлено качественное совпадение авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике, в тех случаях, когда такое сравнение возможно провести;

использованы современные подходы к получению количественных результатов, совмещающие теоретический расчет и имитационное моделирование.

Личный вклад соискателя состоит в постановке задач исследований, разработке теоретических решений и формулировке предложенных моделей и алгоритмов, планировании исследований и экспериментов, обработке данных и интерпретации полученных результатов, обобщении результатов в виде обоснованных выводов, изложении содержания исследований в форме научных публикаций и апробации результатов.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания: для проверки точности и адекватности рассматриваемых моделей соискатель не использовал натурный эксперимент; рассмотрена только задача выбора числа сенсоров при их случайном размещении, но не уделено внимание другим способам размещения сенсоров.

Соискатель Борисовская Анна Владимировна ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы и привела собственную аргументацию по обсуждаемым научным положениям.

На заседании 01 октября 2024 года диссертационный совет принял решение: присудить Борисовской Анне Владимировне ученую степень кандидата технических наук по специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций за решение научной задачи разработки моделей систем со случайным множественным доступом для оценки качества их работы с учетом зависимости данных от разных источников, имеющей существенное значение для развития телекоммуникационной отрасли в части систем Интернета вещей.


При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 10 докторов наук по специальности 2.2.15, участвовавших в заседании, из 18 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение ученой степени – 14, против присуждения ученой степени – 0, недействительных бюллетеней – 2.

Председатель диссертационного совета 24.2.384.01
доктор технических наук, профессор



Татарникова Татьяна Михайловна

Ученый секретарь диссертационного совета 24.2.384.01
кандидат тех



Сергеев Александр Михайлович



«01» октября 2024 года