

ул. Кантемировская д. 8, Санкт-Петербург,
Россия, 197342 Тел. (812) 295-50-69,
Факс (812) 542-18-49

www.inteltech.ru E-mail: intelteh@inteltech.ru
ОКПО 07503490, ОГРН 1027801525608,
ИНН/КПП 7802030605/781401001

19.11.2025 № ИТХ-11/128

На № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель генерального директора
— главный конструктор

И.А. Кулешов

2025г.

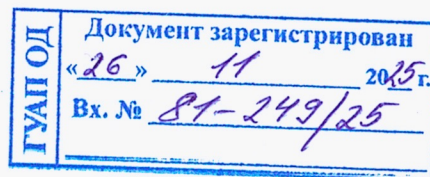
ОТЗЫВ

ведущей организации публичного акционерного общества «Информационные телекоммуникационные технологии» на диссертацию Степанова Никиты Вячеславовича «Модели канала случайного множественного доступа для различных сценариев применения крупномасштабных сетей с низким энергопотреблением», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций (технические науки).

Актуальность темы исследования

В настоящее время получают широкое распространение сети LPWAN (Low-power Wide-area Network), которые могут быть построены на различных технологиях. В настоящее время для построения крупномасштабных сетей с низким энергопотреблением используются два совершенно разных подхода. Первый подход базируется на технологиях сотовых сетей, а второй базируется на совокупности технологий беспроводной передачи данных в нелицензированном диапазоне частот и включает в себя множество технологий. Как показала практика для доступа к общему каналу связи необходимо использовать случайный доступ.

На сегодняшний день разработано и доступно на рынке множество коммуникационных технологий для IoT, включая технологии малого и сверхмалого радиуса действия, BLE, Wi и RFID, а также технологии дальнего радиуса действия (LoRa, Sigfox, и Weightless). Большинство этих технологий функционируют в нелицензируемом спектре частот. По этой причине уровень помех в общем канале негативно сказывается на их производительность. Также особенностью IoT



технологий (за исключением Wi-Fi) является необходимость развертывания отдельной инфраструктуры для обслуживания приложений IoT, что увеличивает конечную стоимость таких решений. Использование технологии CIoT позволяет сэкономить на инфраструктуре. Операторы могут включить поддержку CIoT технологий на существующих базовых станциях путем обновления программного обеспечения. Работа абонентских устройств в лицензируемой полосе частот позволяет значительно ослабить деструктивное влияние помех от других систем, а также выйти из-под ограничений, накладываемых на рабочий цикл (duty cycle), во многих диапазонах, не лицензируемых частот. Тем самым технологии CIoT потенциально могут обеспечить более высокие предельные значения производительности (к примеру - скорость передачи данных) и стабильность связи.

Многообразие задач, стоящих перед крупномасштабными сетями с низким энергопотреблением, приводит к проблеме выбора технологии для решения конкретной задачи. Поэтому **актуальной является задача** разработки моделей, отражающих основные особенности организации случайного доступа в крупномасштабных сетях с низким энергопотреблением, и методов, позволяющих эффективно использовать особенности технологий (например, наличие в сотовых сетях этапа случайного доступа и этапа передачи данных).

Все вышесказанное свидетельствует об актуальности и важности научной задачи.

Новизна исследования и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

В ходе проведения научных исследований была решена **научная задача**: Разработка моделей, отражающих основные особенности организации случайного множественного доступа (СМД) в крупномасштабных сетях с низким энергопотреблением (КСНЭ), построенных с использованием современных беспроводных технологий и методов, позволяющих эффективно использовать особенности технологий с учётом специфики различных сценариев использования таких сетей.

Объектом исследования являются крупномасштабные сети с низким энергопотреблением, в которых для организации передачи по общему каналу используется случайный множественный доступ.

Предметом исследования являются модели и методы для анализа вероятностно-временных характеристик канала случайного доступа в крупномасштабных сетях с низким энергопотреблением.

Целью данной работы является разработка моделей, отражающих основные особенности организации случайного доступа в крупномасштабных сетях с низким энергопотреблением, и методов, позволяющих повысить эффективность за счёт учёта особенностей конкретной технологии.

В ходе решения научной задачи были сформулированы положения, выносимые на защиту:

1. Метод двухэтапного вычисления переходных вероятностей Марковской цепи, описывающий функционирование системы со случайным множественным доступом, позволяющий уменьшить вычислительные затраты при исследовании зависимости характеристик системы от параметров входного потока.

2. Модели и методы для технологий, в которых имеются этап случайного доступа и этап передачи данных, позволяющие повысить скорость передачи за счёт распределения частотно-временного ресурса между этапами в рамках одной технологии и уменьшить задержку путём распределения абонентских устройств для случая, когда в одной сети используются разные технологии.

3. Модель, описывающая сценарий перемещения объекта, состоящего из группы абонентских устройств, между зонами действия базовых станций и позволяющая определять среднюю задержку доставки сообщений на базовую станцию в зависимости от среднего времени пребывания вне зоны действия базовых станций.

4. Научно-технические решения по использованию предложенной минимаксной оптимизационной задачи, позволяющие определить значения параметров абонентских устройств, обеспечивающих одинаковые и достаточно высокие вероятности доставки сообщений от абонентских устройств.

Научная новизна результатов, представленных в диссертационной работе, состоит в следующем:

1. Предложен метод, который позволяет существенно уменьшить вычислительные затраты при исследовании зависимостей характеристик системы от параметров входного потока с использованием аппарата Марковских цепей, отличающийся от ранее известных тем, что вычисления производятся в два этапа. На первом этапе однократно производится вычисление, учитывающее особенности

технологии, а на втором этапе выполняются вычисления, учитывающие характеристики входного потока.

2. Для технологий, в которых имеется этап случайного доступа и этап передачи данных, впервые сформулирована модель и предложен метод максимизации скорости передачи за счёт распределения частотно-временного ресурса между этапом случайного доступа и этапом передачи данных.

3. Впервые сформулирована модель и предложен метод минимизации средней задержки за счёт распределения абонентских устройств для случая, когда в одной сети используются разные технологии.

4. Введена модель, описывающая сценарий перемещения объекта, состоящего из группы устройств, и отличающаяся от ранее известных моделей тем, что зоны действия базовых станций не перекрываются.

5. Впервые сформулирована и решена оптимизационная минимаксная задача для назначения параметров абонентским устройствам в высокоплотных сетях, построенных по технологии LoRaWAN.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов

Обоснованность и достоверность научных выводов диссертационного исследования подтверждаются использованием общепринятых методов, а также корректным имитационным моделированием. Полученные в ходе моделирования результаты согласуются с данными, ранее опубликованными другими авторами, работающими в области случайного множественного доступа.

Значимость для науки и практики результатов, полученных автором диссертации

Теоретическая значимость диссертационной работы заключается в возможности использования предложенных моделей для теоретического анализа работы систем Интернета вещей с большим числом устройств и несколькими этапами передачи.

Практическая значимость работы состоит в том, что полученные в диссертационной работе результаты внедрены в опытно-конструкторских работах ООО «НПО ПКРВ», ООО «Газпромнефть ИТО», АО «Котлин-Новатор» и АО «НИИ Масштаб», а также в рамках научно-исследовательских работ в Санкт-Петербургском государственном университете аэрокосмического приборостроения (СПбГУАП): гос. задания от Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № FSRF-2020-0004 «Научные основы построения

архитектур и систем связи бортовых информационно-вычислительных комплексов нового поколения для авиационных, космических систем и беспилотных транспортных средств» и грантов Российского Научного Фонда № 18-19-00673 «Разработка методов случайного множественного доступа для массового межмашинного взаимодействия», № 22-19-00305 «Пространственно-временные стохастические модели беспроводных сетей с большим числом абонентов».

Личное участие автора в получении результатов изложенных в диссертации

Основные результаты диссертационной работы получены автором самостоятельно, что подтверждается тем, что 2 работы категории К2 из списка ВАК написано им без соавторов, а в остальных работах 56% результатов получены автором.

Полнота опубликования и апробация результатов исследования

Основные результаты по теме диссертации изложены в 17 печатных изданиях, 4 из которых изданы в журналах, рекомендованных ВАК, 2 — в периодических научных журналах, индексируемых Web of Science и Scopus, 9 — в сборниках докладов международных конференций, индексируемых Web of Science и Scopus, 1 — в тезисах докладов, индексируемых РИНЦ. По теме исследования получено 1 свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Основные результаты работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях и симпозиумах в период с 2017 по 2023 гг.: научных сессиях ГУАП (2017-2021 гг.); конференции «The 10th International Congress on UltraModern Telecommunications and Control Systems (ICUMT2018)»; конференции «11th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems(ICUMT2019)»; конференции «2018 International Conference on Next Generation Wired/Wireless Networking (New2An2018)»; конференции «2018 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF2018)»; конференции «2019 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (ICUMT2019)»; в 2019 г. XXVIII международной научно-технической конференции «Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации»; конференции «XVI International Symposium Problems of Redundancy in Information and Control Systems (REDUNDANCY2019)»; конференции «2020 International Conference on Next

Generation Wired/Wireless Networking (New2An2020)»; конференции «2020 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF2020)»; конференции «2021 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF2021)»; конференции «2021 Proceedings of the 5th ACM Workshop on Millimeter-Wave and Terahertz Networks and Sensing Systems (mmNETs-2021)»; конференции «2022 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC 2022)»; конференции «2022 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF2022)»; в 2022г. XXVIII международная научно-техническая конференция «Оптимизация стохастического и обычного трафика в сети NB-IoT»; конференции «2023 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF2023)»; конференции «Distributed Computer and Communication Networks: Control, Computation, Communications: 26th International Conference (DCCN2023)»; конференции «2023 XVIII International Symposium Problems of Redundancy in Information and Control Systems (REDUNDANCY2023)» и XXXII международной научно-технической конференции «Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации».

Все вышеизложенное свидетельствует о наличии необходимого числа публикаций, достаточном уровне апробации и обсуждений представленных автором результатов.

Содержание и правильность оформления диссертации и автореферата

По содержанию диссертационная работа представляется в виде завершённой научной работы, изложенной на 183 страницах, которая включает в себя введение, четыре раздела, заключение, список сокращений, список литературы из 128 наименований, список рисунков, список таблиц и семи приложений. По каждой главе и работе в целом сделаны четкие выводы.

Тема и содержание диссертационной работы соответствует специальности 2.2.15. Системы и сети и устройства телекоммуникаций: п. 1 «Разработка и совершенствование методов исследования, моделирования и проектирования сетей, систем и устройств телекоммуникаций»; п. 2 «Исследование новых технических, технологических и программных решений, позволяющих повысить эффективность развития цифровых сетей, систем и устройств телекоммуникаций»; п. 7 «Исследование проблем построения, планирования и проектирования сетей пятого и последующих поколений как основы создания эффективной цифровой экономики и разработка систем и устройств телекоммуникаций для этих сетей»; п. 8

«Исследование проблем построения, планирования и проектирования высокоплотных и сверх плотных сетей для обеспечения реализации приложений Интернета вещей и разработка систем и устройств телекоммуникаций для этих сетей».

Глубокое знание предмета исследований в сочетании с активным применением современных математических методов свидетельствует о высокой специальной подготовке соискателя.

В целом диссертация и автореферат оформлен в соответствии с принятыми для научных квалификационных работ нормами и требованиями. Автореферат в полной мере отражает основные научные результаты и положения, сформулированные в тексте диссертации. Автореферат содержит краткое изложение материалов диссертационной работы по разделам и полностью соответствует содержанию самой диссертационной работы.

Вместе с тем, указав на полезность полученных результатов, считаем необходимым отметить ряд недостатков, имеющих в представленной диссертации:

1. В выводах по первому разделу указывается, что использование разработанного метода двух этапного вычисления переходных вероятностей Марковской цепи снижает вычислительные затраты от 24 до 60 раз, но из текста диссертации не понятно откуда взялись эти данные.

2. В выводах по второму разделу утверждается, что скорость передачи вырастает на 40 % за счет перераспределения частотно-временного ресурса между этапом случайного доступа и этапом передачи данных, но при этом не приводятся аналитические выражения для расчета скорости передачи и сами расчеты.

3. Из текста диссертации не понятно, по каким показателям и критериям оценивалась эффективность функционирования крупномасштабных сетей с низким энергопотреблением, построенных на различных технологиях, и насколько удалось повысить эффективность в ходе диссертационного исследования.

4. В диссертации нет однозначного математического описания крупномасштабных сетей с низким энергопотреблением. Например, в пункте 3.2 (стр.71) говорится, что в системе с движущимися платформами для входных потоков нельзя использовать бернуллиевские и пуассоновские законы, а в пункте 3.3 (стр.78) предлагается использовать бернуллиевский входной поток.

5. Особенностью крупномасштабных сетей с низким энергопотреблением является их нечувствительность к задержкам, но в модели с движущимися

платформами основной акцент сделан на снижении задержек за счет увеличения времени пребывания в пассивном состоянии.

Заключение

Отмеченные в отзыве недостатки не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы Степанова Никиты Вячеславовича. Диссертация «Модели канала случайного множественного доступа для различных сценариев применения крупномасштабных сетей с низким энергопотреблением» является завершённой научно-квалифицированной работой, содержание которой соответствуют пунктам 1,2,7 и 8 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.

Диссертация Степанова Н.В. представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, выполненную на актуальную тему, в которой содержится решение научно-практической задачи, исследование методов снижения затрат энергии, необходимой для обеспечения стабильной работы систем случайного множественного доступа с потенциально неограниченным числом пользовательских устройств.

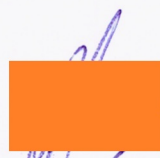
Диссертационная работа соискателя содержит решение научной задачи, имеющей существенное значение для развития телекоммуникационных систем.

На основании вышеизложенного считаем, что диссертационная работа Степанова Н.В. «Модели канала случайного множественного доступа для различных сценариев применения крупномасштабных сетей с низким энергопотреблением» соответствуют критериям, которые установлены пунктами 9-14 Положения о порядке присуждения учёной степени (утв. Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842 (ред. от 16.10.2024)), предъявляемым в отношении диссертаций на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15 – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций», а её автор Степанов Н.В. заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15 – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций».

Диссертация и автореферат заслушаны и обсуждены на заседании научно-технического совета публичного акционерного общества «Информационные телекоммуникационные технологии» 18.11.2025, протокол № 20-25.

Отзыв составили:

Заместитель генерального конструктора
кандидат военных наук, СИС



Харченко Олег Васильевич

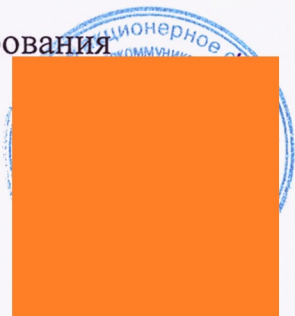
Начальник отдела ПАО «Интелтех»
кандидат технических наук, доцент



Лапицкий Владимир Францевич

Подписи заместителя генерального конструктора кандидата военных наук Харченко Олега Васильевича и заместителя начальника отдела кандидата технических наук, доцента Лапицкого Владимира Францевича заверяю.

Начальник отдела администрирования
ПАО «Интелтех»
«19» ноября 2025 г.



Дудкина Евгения Николаевна