



ИНВЕСТ	Документ зарегистрирован
	« 08 » 09 2023 г.
	Вх. № 11-111/23

УТВЕРЖДАЮ



Генеральный директор

Жохов А.Н.

« 04 » 09 2023 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации Акционерное общество «Российский институт мощного радиостроения» на диссертационную работу Буркова Артёма Андреевича, на тему: «Модели и методы обеспечения стабильной и энергоэффективной работы систем массовой межмашинной связи», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15 – Системы, сети и устройства телекоммуникации (технические науки)

### Актуальность темы диссертационной работы

Одной из услуг, предоставляемых современными системами передачи данных, является технология «Интернета Вещей», которая предполагает прямое взаимодействие между автономными устройствами без участия человека. Традиционно работа данной технологии описывается сценарием массовой межмашинной связи, характеризующимся необходимостью обеспечения стабильной работы большого количества устройств в сети с высокой плотностью размещения, передающих короткие сообщения. Большое число устройств определяет использование методов случайного множественного доступа для передачи по общему ресурсу канала связи. Устройства, функционирующие в такой сети, как правило, представляют собой сенсоры или датчики, работающие от аккумуляторной батареи, что

обуславливает потребность в снижении затрат энергии на устройстве. Существующие в современных системах связи решения не позволяют в полной мере реализовать идеи сценария массовой межмашинной связи. Современные тенденции предполагают необходимость наращивания скорости передачи, увеличения числа поддерживаемых сетью устройств, снижения задержки доставки данных и повышения энергоэффективности. Всё это определяет необходимость разработки новых методов построения и функционирования таких сетей и устройств в них, что и определяет актуальность данной диссертационной работы, в которой автором предлагаются модели систем случайного множественного доступа с потенциально неограниченным числом пользовательских устройств, которые отражают особенности сценария массовой межмашинной связи, а также методы снижения затрат энергии при фиксированной спектральной эффективности и стабильной работе рассматриваемых систем.

### **Новизна полученных научных результатов**

Тема и содержание диссертационной работы соответствует паспорту научной специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций: по п. 1. «Разработка, и совершенствование методов исследования, моделирования и проектирования сетей, систем и устройств телекоммуникаций»; п. 3. «Исследование процессов представления, передачи, хранения и отображения аналоговой, цифровой, видео-, аудио-, голографической и мультимедиа информации; разработка и совершенствование соответствующих алгоритмов и процедур»; п. 6. «Развитие и разработка новых методов доступа абонентов к ресурсам сетей, систем и устройств телекоммуникаций»; 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».

К основным научным результатам диссертационной работы можно отнести следующие:

- Введены новые модели систем случайного множественного доступа с потенциально неограниченным числом устройств, которые отражают особенности сценария массовой межмашинной связи;

- Сформулированы и решены оптимизационные задачи для вычисления границ достижимости затрат энергии с учетом условий стабильной работы системы;

- Получены новые нижние границы для затрат энергии, учитывающие влияния наличия повторных передач сообщений и определено минимально необходимое увеличение затрат энергии для обеспечения стабильной работы систем по сравнению с системой где всего одно пользовательское устройство;

- Исследовано влияние применения методов гибридной обратной связи на затраты энергии в стабильных системах случайного множественного доступа;

- Предложен новый класс алгоритмов случайного множественного доступа с использованием метода разрешения коллизий, основанного на использовании преамбул, и проведен анализ алгоритмов из данного класса.

### **Теоретическая и практическая значимость**

Теоретическая значимость работы заключается в том, что уточнены нижние границы для затрат энергии систем случайного множественного доступа при потенциально неограниченном числе пользовательских устройств и устойчивой работы системы; сформулированы оптимизационные задачи для определения границ достижимости затрат энергии в системах с потенциально неограниченным числом устройств; получены выражения для оценки нижних границ затрат энергии при использовании гибридной обратной связи в системах случайного доступа; получены замкнутые выражения для оценки нижних границ затрат энергии при использовании предложенного алгоритма разрешения конфликтов на основе метода разрешения коллизий с использованием преамбул.

Практическая значимость работы определяется тем, что полученные научные результаты позволяют определить потенциальные возможности алгоритмов случайного доступа на этапе проектирования систем связи.

### **Достоверность и обоснованность полученных результатов**

Достоверность и обоснованность полученных научных результатов диссертационного исследования обусловлена применением апробированного математического аппарата, корректно проведенным имитационным моделированием, результаты которого хорошо согласуются с теоретическими предположениями автора и не противоречат ранее известным научным результатам.

## **Полнота опубликования и апробации результатов**

Основные положения диссертации достаточно полно опубликованы. Всего по тематике диссертационного исследования опубликованы 23 работы, из которых: 5 – в журналах из перечня ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации по соответствующей работе специальности и 10 входят в международные базы цитирования. Отдельно можно отметить наличие зарегистрированного результата интеллектуальной деятельности (программа для ЭВМ).

Основные результаты работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях и симпозиумах в период с 2017 по 2021 гг.: научных сессия ГУАП (2017-2021 гг.); конференции «The 9<sup>th</sup> International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems (ICUMT2018)»; конференция «10th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems(ICUMT2019)»; конференции «2018 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF2018)»; конференция «2019 Wave Electronics and its 12 Application in Information and Telecommunication Systems (ICUMT2019)»; конференции «XVI International Symposium Problems of Redundancy in Information and Control Systems (REDUNDANCY2019)»; конференции «2020 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF2020); конференция 2021 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF2021) и конференции «Обработка, передача и защита информации в компьютерных системах: Первая Всероссийская научная конференция».

Все это может свидетельствовать о наличии необходимого числа публикаций, достаточном уровне апробации и обсуждения представляемых результатов.

## **Содержание и оформление диссертации и автореферата**

По содержанию диссертационная работа представляется в виде завершенной научной работы изложенной на 156 страницах, которая включает в себя введение, четыре главы, заключение, список сокращений и условных обозначений, список литературы из 129 наименований и трех приложений.

Во введении приводится обоснование актуальности выбранной темы диссертационного исследования и степень её разработанности,

сформулированы цель, задачи и положения, выносимые на защиту, описывается новизна, теоретическая и практическая значимость работы.

В первой главе «Использование методов теории информации и методов теории множественного доступа при исследовании систем массовой межмашинной связи» приводится: описание специфики сценария массовой межмашинной связи; обзор путей развития анализа систем случайного множественного доступа; описание основных характеристик систем случайного множественного доступа; понятие спектральной эффективности при рассмотрении систем со случайным доступом; на качественном уровне описываются две задачи минимизации энергоэффективности при обеспечении устойчивой работы системы.

Во второй главе «Энергоэффективность стабильных систем с потенциально неограниченным числом пользовательских устройств на базе алгоритма типа АЛОНА»: формулируются базовые модели для систем со сценарием массовой межмашинной связи при потенциально неограниченном числе пользовательских устройств; формулируются четыре задачи минимизации энергозатрат и приводятся примеры их решения; представлен вывод формул для расчета нижних границы энергозатрат с учетом наличия или отсутствия повторных передач; проводится анализ влияния дополнительных ограничений по средней задержке в системе на энергоэффективность.

В третьей главе «Методы гибридной обратной связи в системах с потенциально неограниченным числом пользовательских устройств»: приводится обзор методов гибридной решающей обратной связи (ГРОС); обосновывается выбор методов ГРОС для систем со случайным доступом; описывается модель системы случайного множественного доступа с учетом применения методов ГРОС; приводится анализ энергоэффективности в системах случайного множественного доступа при использовании методов ГРОС.

В четвертой главе «Методы разрешения коллизий с использованием преамбул в системах с потенциально неограниченным числом пользовательских устройств»: приводится модель системы случайного доступа с учетом методов разрешения коллизии с использованием преамбул; описываются предлагаемые алгоритмы случайного доступа на основе методов разрешения коллизии с использованием преамбул и определяются условия стабильности данных алгоритмов; приводится анализ средней задержки в предложенных алгоритмах; анализируется влияние количества уникальных

преамбул на характеристики системы; приводится анализ энергоэффективности систем при использовании предложенных алгоритмов.

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

### **Недостатки диссертационной работы:**

1. На странице 72 указаны формулы для расчета вероятности появления некоторого количества не успешных передач, но отсутствует их обоснование. При этом формула для гибридной решающей обратной связи «второго типа» в дальнейшем используются при анализе системы.

2. На странице 110 автор указывает переходные вероятности для двухмерной Марковской цепи, однако, далее в тексте диссертации при анализе эргодичности данные переходные вероятности не используются.

3. В четверной главе при анализе энергоэффективности алгоритмов на основе методов разрешения коллизии с использованием преамбул не учитываются энергозатраты на передачу преамбулы и их длительность.

4. В работе используется модель канала с аддитивным белым гауссовским шумом. При этом для анализа реальных систем такая модель мало применима, так как не учитываются другие факторы искажения сигнала при передаче по беспроводному каналу связи.

5. В первой и второй главе в формулах используются логарифмы по основанию 2. В главах три и четыре основание логарифмов в формулах не указано.

6. На странице 112 некорректно оформлена ссылка на формулу (4.21).

### **Заключение**

Отмеченные в отзыве недостатки не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы Буркова Артёма Андреевича. Диссертация «Модели и методы обеспечения стабильной и энергоэффективной работы систем массовой межмашинной связи» является завершенной научно-квалификационной работой, и её содержание соответствует пунктам 1, 3, 6 и

8 паспорта специальности 2.2.15 – Системы, сети и устройства телекоммуникации (технические науки).

В целом диссертационная работа отвечает критериям Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к диссертациям на соискание степени кандидата наук, а её автор, Бурков Артём Андреевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Заместитель технического директора,  
к.т.н.



Мингалева А.Н.

«04» 09 2023г.

Заместитель начальника НТО-00200  
к.т.н.



Клионский М.Б.

«04» 09 2023г.

Отзыв на диссертацию и автореферат обсуждён на заседании научно-технического совета АО «РИМР» «04» 09 2023г., протокол № 3.

Учёный секретарь,  
к.т.н., доцент



Шарко Г.В.

«04» 09 2023г.