

ГУАГОД	Документ зарегистрирован
	«07» 09 2023
	Вх. № 81-109/23

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Парамонова Александра Ивановича на диссертацию  
Буркова Артёма Андреевича

«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 телекоммуникаций.

### Актуальность темы диссертации

В современных тенденциях развития телекоммуникаций можно выделить три основные направления – это повышение скорости передачи данных, снижение задержки и повышение надежности доставки данных, а также массовые коммуникации. Под последними понимаются соединения с многочисленными устройствами, подключенными к сети. Массовые коммуникации являются составной частью Интернета вещей (ИВ), концепция построения которого предполагает повышение доступности информации в любое время и в любом месте.

ИВ стал неотъемлемой частью современных перспективных сетей связи. Все современные стандарты построения систем телекоммуникаций включают разделы, посвященные этому направлению.

Численность устройств ИВ уже сейчас превышает количество жителей на планете, и будет увеличиваться в обозримой перспективе. Межмашинные связи (M2M) рассматриваются как связь между большим количеством устройств для передачи относительно малого количества данных. Для этой цели разработаны специальные технологии протоколы и протоколы.

Однако, в области ИВ также происходит эволюционное развитие, которое связано с повышением требований к качеству связи в таких сетях. Сейчас уже выделяют индустриальный интернет вещей (ИИВ), который включает в себя сети, построенные для выполнения различных технологических процессов. «Умные» дома и «Умные» города предполагают наличие массовых межмашинных связей на обширных территориях и в больших объемах.

Сети ИВ становятся сетями с высокой плотностью устройств, в которых одно устройство на квадратный метр это уже далеко не предел.

В таких условиях возникает множество проблем связанных с взаимными влияниями устройств между собой, что приводит к снижению возможностей по передаче данных.

Обеспечение эффективности использования сетевых ресурсов в таких условиях становится первоочередной задачей, для решения которой разрабатываются различные методы, в первую очередь, это методы реализации доступа.

Целью диссертационной работы Буркова Артёма Андреевича является разработка новых моделей систем случайного множественного доступа для определения затрат энергии, необходимой для обеспечения стабильной работы при потенциально неограниченном числе пользовательских устройств, и методов, позволяющих снизить эти затраты при фиксированной спектральной эффективности.

Эту цель можно интерпретировать как повышение эффективности систем случайного множественного доступа сетей ИВ путем разработки нового модельно-методического аппарата.

Таким образом, можно утверждать, что данная диссертационная работа актуальна и направлена на решение важной задачи, имеющей как теоретическое, так и прикладное практическое значение.

#### **Степень обоснованности, достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Достоверность результатов работы подтверждается корректным применением математического аппарата, результатами имитационного моделирования, публикациями и выступлениями как на российских, так и на международных конференциях.

Основные результаты диссертации, обладающие научной новизной:

1. Разработаны модели систем массовой межмашинной связи с потенциально неограниченным числом пользовательских устройств и получены границы достижимости затрат энергии при передаче.

2. Доказано, что для стабильной работы систем случайного доступа на базе ALOHA при потенциально неограниченном числе пользовательских устройств требуется увеличение затрат энергии на бит не менее чем на 4,32дБ по сравнению с пределом Шеннона.

3. Доказано, что использование методов гибридной решающей обратной связи в стабильных системах случайного доступа позволяет уменьшить затраты энергии на бит не более чем на 2,5дБ по сравнению с базовым алгоритмом при любой спектральной эффективности.

4. На основе метода разрешения коллизий с использованием преамбул разработан алгоритм случайного множественного доступа, который позволяет уменьшить затраты энергии по сравнению с алгоритмом типа

ALOHA, но не более чем на 1,5дБ при спектральной эффективности 0,1 бит/с/Гц.

### **Публикации по теме диссертации**

Основные результаты диссертации изложены в 23 опубликованных работах, в том числе в 5 публикациях в изданиях из перечня ВАК, 7 публикация в изданиях, индексируемых в Web of Science, 3 в изданиях, индексируемых в SCOPUS, 7 в сборниках трудов конференций, индексируемых в РИНЦ.

### **Содержание диссертации**

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений, списка литературы и четырех приложений. Общий объем диссертации 156 страниц, включая 27 рисунков, 9 таблиц, список литературы из 129 наименований. В приложениях к диссертационной работе приведены три документа, подтверждающих внедрение основных результатов диссертационной работы и свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

**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** работы приводится достаточно подробный анализ современного состояния сетей ИВ, подробно описываются сценарии межмашинной связи в сетях интернета вещей. Приводятся результаты анализа путей развития систем случайного доступа в рамках теории случайного множественного доступа и теории информации. телекоммуникаций в части выбранной области исследований, определяются основные задачи и подчеркивается актуальность их решения для современных и перспективных сетей связи. Результатом главы является постановка задачи минимизации энергозатрат в системах массовой межмашинной связи.

**Во второй главе** разработаны базовые модели системы массовой межмашинной связи с потенциально неограниченным числом пользовательских устройств и аддитивным белым гауссовским шумом в канале. Разработанные модели описывают системы без обратной связи и с обратной связью. Результатом второй главы является доказательство того, что для стабильной работы системы случайного множественного доступа при потенциально неограниченном числе пользовательских устройств на базе алгоритма ALOHA требуется увеличение затрат энергии на бит не менее чем на 4,32дБ по сравнению с пределом Шеннона, в рамках введенных допущений.

В этой главе также приведены результаты исследования влияния изменения вероятности передачи сообщения пользовательским устройством в системе с алгоритмом типа ALOHA на её энергоэффективность.

Полученные результаты сформулированы в первом и во втором положениях, выносимых на защиту.

**В третьей главе** приводится анализ применения методов гибридной обратной связи в системах случайного множественного доступа для повышения эффективности систем с обратной связью при наличии повторных передач.

В результате исследований доказано, что при определенных условиях гибридная обратная связь, использующая метод комбинирования по Чейзу, позволяет повысить спектральную эффективность или уменьшить энергозатраты системы случайного множественного доступа.

Полученные в третьей главе результаты сформулированы в третьем положении, выносимом на защиту.

#### **В четвертой главе**

Разработана модифицированная модель базовой системы для учёта особенностей метода разрешения коллизий с использованием преамбул. Ключевой особенностью модели является то, что при наложении сигналов в канале БС может однозначно определить, какие преамбулы были в смеси сигналов. В рамках модели разработан алгоритм случайного множественного доступа, использующий информацию о преамбулах.

С помощью теории Марковских цепей приведен анализ предельной интенсивности входного потока, до которой рассматриваемые алгоритмы работают стабильно при бесконечном числе преамбул.

Основным результатом является то, что разработанный алгоритм позволил снизить энергозатраты по сравнению с алгоритмом типа ALOHA.

Полученные в главе результаты сформулированы в четвертом положении, выносимым на защиту.

**В заключении** автор приводит перечень полученных результатов.

#### **Замечания по диссертационной работе**

1. В первой главе (страница 30), при введении условий типового сценария массовой межмашинной связи делается допущение о том, что уровень затухания в канале между базовой станцией и всеми пользовательскими устройствами одинаков. Такое допущение не всегда правомерно. Часто пользовательские устройства размещены в окружении, которое оказывает существенное влияние на распространение сигнала, а уровень затухания в таком случае случаен и может иметь существенный разброс в зоне обслуживания базовой станции. Следовало бы описать условия для этого допущения.

2. В описанных типовых сценариях рассматривается только отношение сигнал/шум, которое не в полной мере характеризуется подобными сетями

межмашинной связи. В таких сетях существенную роль играют помехи, производимые устройствами сети. Если в мощности шума учитывать и мощность помех, то уменьшение мощности сигнала не всегда будет приводить к уменьшению этого отношения, как отмечено на странице 30.

3. При формулировке базовой модели (страница 34) делается предположение о Пуассоновском потоке на входе системы, следовало бы подробнее описать условия, в которых эта модель применима, так как свойства потоков при межмашинном взаимодействии зависят от прикладной задачи.

4. В разработанных моделях для систем массового случайного доступа с каналом обратной связи, как простой, так и гибридной, принимается допущение об отсутствии ошибок в канале обратной связи. Разумеется, такое допущение существенно упрощает решение задачи, не всегда его можно считать близким к реальности. Автору следовало бы уделить внимание условиям применимости такого допущения и хотя бы грубо оценить вносимую им ошибку.

5. На странице 117 при сравнении задержек для заблокированного и неблокированного алгоритмов делается утверждение, что выигрыш заблокированного алгоритма оказывается более значительным, чем потенциальные преимущества неблокированного. Это утверждение следовало бы более подробно пояснить, так как оно справедливо лишь для определенных условий.

6. Имеет место незначительное количество опечаток и грамматических ошибок (Например, страницы 17, 81, 95, 122, 132); отдельные неудачные формулировки, например, на рисунке 4.11 следовало бы говорить не о мощности, а об уровне мощности.

Приведенные выше замечания не снижают качества выполнения работы и ценности полученных результатов.

### **Выводы и заключение**

Диссертационная работа Буркова Артёма Андреевича, посвящена решению научной задачи, имеющей существенное значение для развития телекоммуникаций в повышении эффективности сетей Интернета вещей путем разработки модельно-методического аппарата, обеспечивающего стабильность и энергоэффективность работы систем массовой межмашинной связи.

Работа Буркова Артёма Андреевича является законченной научно-квалификационной работой, результаты которой обладают научной новизной и практической значимостью. Материалы исследования в достаточно полном объеме отражены в публикациях автора и прошли апробацию на научных конференциях. Автореферат адекватно отражает содержание диссертации.

На основании вышесказанного считаю, что диссертационная работа «Модели и методы обеспечения стабильной и энергоэффективной работы систем массовой межмашинной связи» полностью соответствует критериям, которым должна отвечать диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 (в редакции от 28.08.2017).), а ее автор Бурков Артём Андреевич заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15 — Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

« 01 » сентября 2023 г.

Официальный оппонент,

Профессор кафедры сетей связи и передачи данных Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича.

д.т.н., доцент

А.И. Парамонов

**Сведения об оппоненте:**

Парамонов Александр Иванович, гражданин Российской Федерации, доктор технических наук по специальностям 05.12.13 -Системы, сети и устройства телекоммуникаций. Профессор кафедры сетей связи и передачи данных федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича». Адрес: 193232, Санкт-Петербург, пр. Большевиков д.22, корп.1, литера А, Ж., <http://www.sut.ru/>, ++7 (812) 326-31-50, [alex-in-spb@yandex.ru](mailto:alex-in-spb@yandex.ru).

