

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке ФГАОУ ВО
«Уральский федеральный
университет имени первого
Президента России Б. Н. Ельцина»,
д-р физ.-мат. наук, доцент
Германенко Александр Викторович

«22»

2025 г.

Печать организации



ОТЗЫВ

ведущей организации – Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (УрФУ) –
о научно-практической ценности диссертации Иванова Владислава Викторовича на тему: «Координированная дифференциальная обработка сигналов для эффективного кодирования сообщений многоканальных систем связи с однотипными каналами», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

1. Актуальность темы и ее связь с планами отраслевой науки

В последние десятилетия одной из тенденций в развитии систем связи и устройств телекоммуникаций является поиск и освоение новых методов снижения энергопотребления оборудованием при сохранении качества связи. Данная тенденция обусловлена резким ростом объема беспроводной передачи данных, значительным увеличением количества высокопроизводительных беспроводных устройств, развитием и широким внедрением концепции «Интернет вещей», а также повсеместной «цифровизацией» различных сфер человеческой деятельности. Такая ситуация в целом создает существенную нагрузку на инфраструктуру связи, повышая энергопотребление телекоммуникационных систем. Кроме того, в настоящее время бурными темпами развивается сегмент беспилотных летательных аппаратов различного

ВХОД. № 1654-13

«28» 04 2025г.

назначения, для связи с которыми также требуются высокоскоростные каналы передачи данных при ограниченности ресурса бортового источника питания.

В русле указанной тенденции находится диссертация В.В. Иванова. В ней **поставлена и решена актуальная задача** повышения эффективности автономных инфокоммуникационных систем путем разработки и исследования новых алгоритмов эффективного кодирования. В ходе решения этой задачи автором предложено применение координированного дифференциального преобразователя (КДП), в котором улучшение параметров системы связи достигается не только за счет автокорреляционных характеристик канального сигнала, но и благодаря корреляции сигналов между каналами многоканальной системы связи.

Для достижения поставленной цели автором разработана структурная схема КДП с однотипными подсистемами и голономными межканальными связями, функционирующими в условиях параметрической неопределенности. Разработаны алгоритмы анализа и синтеза передающей и приемной частей КДП для указанных условий, а также варианты построения преобразователя для применения в устройствах «Интернета вещей» и исследована их эффективность.

2. Оценка структуры и содержания работы

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы (125 наименований) и 4 приложений. Общий объем диссертации составляет 153 страницы, включающих в себя 27 рисунков и 4 таблицы.

Во введении сформулированы цель и задачи диссертационного исследования, обозначена его актуальность, отмечена степень проработанности темы, а также перечислены элементы научной новизны работы, теоретической и практической значимости результатов.

Первая глава посвящена анализу методов эффективного кодирования для автономных беспроводных систем связи с однотипными каналами. В ней рассматриваются ключевые показатели и метрики для оценки эффективности систем связи, а также представлена классификация методов, направленных на повышение эффективности с точки зрения частотного ресурса и энергопотребления. Автором диссертации выявлено, что алгоритмы и архитектуры устройств и сетей Интернета вещей могут быть за счёт устранения межканальной избыточности, что позволяет снизить их энергопотребление. Также проанализированы дополнительные аспекты, ограничивающие синтез

энергоэффективных систем связи, связанные с нестационарными процессами и параметрической неопределённостью.

Во второй главе разработаны алгоритмы синтеза и анализа передающей части системы координированного дифференциального преобразователя (КДП). Предложена новая структура КДП, отличающаяся внедрением в предсказатель координирующей межканальной матрицы, отражающей линейную корреляцию между входными сигналами. Сформулирована и решена задача синтеза КДП, основанная на модифицированном методе анализа устойчивости однотипных систем. Также была решена задача синтеза нелинейного КДП, который включает ограничение амплитуды сигналов на выходе динамической составляющей предсказателя. Разработан алгоритм для анализа статической точности КДП с голономными связями.

В третьей главе предложен алгоритм синтеза приёмной части системы КДП в условиях параметрической неопределённости. Для решения проблемы восстановления исходных сигналов предложена концепция самонастраивающегося приёмника КДП, который способен извлекать необходимые данные о параметрах передающей части из принимаемых сигналов и априорных знаний о структурах передатчика и приёмника. Приведен алгоритм построения поисковой приемной части КДП, позволяющий адаптировать шаг дискретизации экстраполятора приемника в некогерентном режиме.

В четвёртой главе представлены результаты экспериментального исследования применения КДП в системах Интернета вещей. Описан эксперимент по оценке эффективности сжатия низкоскоростных сенсорных и высокоскоростных мультимедийных данных. Экспериментальное исследование показало высокую эффективность предложенного метода: для низкоскоростных сигналов достигнуты коэффициенты сжатия от 2 до 64 раз при изменении коэффициента прямой передачи от 2 до 200. Энергоэффективность по метрике бит/Джоуль системы повысилась на 33% по сравнению с системой без предложенного алгоритма сжатия. Также был предложен алгоритм сжатия изображений на основе предварительной кластеризации, который позволил добиться десятикратного уменьшения объёма данных без заметных потерь в качестве.

В заключении приведены основные выводы и результаты диссертационной работы.

3. Область исследования диссертации соответствует следующим пунктам паспорта специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства 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. 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».

4. Оформление диссертации в целом соответствует ГОСТ Р 7.0.11-2011. Автореферат диссертации соответствует установленным требованиям, предоставляя полное представление о содержании работы, полученных теоретических и практических результатах, а также выводах.

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

К основным новым научным результатам диссертации можно отнести следующие.

5.1. Разработана структурная схема приемопередающего тракта многоканальной инфокоммуникационной системы предиктивного кодирования сообщений. Схема основана на рассмотрении как многосвязной системы с голономными межканальными связями. Она отличается применением координированной дифференциальной обработки сигналов однотипных каналов. Позволяет снизить динамический диапазон первичных сигналов и вычислительную сложность их обработки с сохранением требуемого качества связи.

5.2. Разработан алгоритм синтеза передающей части КДП, который отличается применением частотного метода для определения его параметров, сложность которого не зависит от порядка дифференциального уравнения фильтров предсказателя, и позволяет учитывать изменяющиеся во времени свойства обрабатываемых сообщений.

5.3. Разработан метод построения беспойсковой самонастраивающейся приемной части КДП, который позволяет на основе принимаемых разностных сигналов определить требуемые для корректного восстановления информации

параметры схемы приемника и исключить необходимость передачи дополнительной служебной информации в канале управления.

5.4. Разработан алгоритм построения поисковой (активной) приемной части КДП на основе многомерной оптимизации с использованием метода градиентного спуска, который позволяет адаптировать шаг дискретизации экстраполятора приемника в некогерентном режиме.

Защищаемые научные положения, связанные с ними результаты работы и вытекающие из них рекомендации вполне **оригинальны**. Проектирование предложенных автором алгоритмов формирования и обработки сигналов осуществляется на современном уровне. При этом использовано имитационное моделирование характеристик каналов связи с применением современного программного обеспечения. Все результаты теоретических исследований подтверждены данными экспериментов. Многие результаты работы сопоставляются с результатами, которые получены и опубликованы другими авторами. На устройства для дифференциальной импульсно-кодовой модуляции сигналов получены два патента на полезные модели и одно свидетельство на программу для ЭВМ.

6. Обоснованность и достоверность результатов диссертации основана на использовании известных теоретических положений, корректности используемых математических моделей и их соответствия реальным физическим процессам, их обсуждении на научных конференциях, а также апробации в ходе экспериментов с применением разработанных программных средств, практическом применении предложенных схем и алгоритмов для повышения эффективности автономных систем Интернета вещей.

7. Публикации по теме диссертации

Результаты диссертационной работы опубликованы в 13 научных работ, в том числе в 2 статьях в рецензируемых научных журналах из перечня ВАК, 2 в научных изданиях, входящих в базы цитирования Web of Science и Scopus (Q2 и Q3), в 9 работах в сборниках трудов и материалах конференций (из которых 3 труда входят в базу цитирования Scopus). Получены 3 результата интеллектуальной деятельности: 2 патента на полезную модель и 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

8. Значимость для науки и практики полученных результатов

Научные результаты диссертации создают теоретическую основу для развития систем, сетей и устройств телекоммуникаций. В работе В.В. Иванова предложены новые структурные решения построения передающей и приемной частей системы КДП в условиях параметрической неопределенности. Кроме того, разработаны алгоритмы их синтеза и анализа, которые позволяют синтезировать координированные кодеки для автономных систем многоканальной связи.

Практическая значимость результатов диссертации состоит в том, что они способствуют созданию более совершенных средств связи нового поколения. Так, например, использование предложенного КДП позволяет уменьшить количество передаваемых информационных бит без потери качества связи, а разработанный алгоритм может лежать в основе управления многими процессами обработки сигналов в адаптивных кодирующих устройствах систем связи, что востребовано во многих отраслях и направлениях хозяйственной деятельности.

9. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы

Результаты диссертации представляет интерес, прежде всего, для специалистов-разработчиков нового поколения энергоэффективной аппаратуры связи. Материалы диссертации могут быть полезными также для более широкого круга специалистов, работающих в области применения указанных средств. Считаем целесообразным рекомендовать автору продолжить работы по созданию новых методов и алгоритмов формирования и обработки сигналов и поиску оригинальных конструкторско-технологических решений аппаратуры связи с улучшенными характеристиками.

Результаты диссертационной работы могут использоваться проектными организациями при создании энергоэффективных систем и устройств передачи данных нового поколения. Они востребованы для внедрения в системы управления и коммуникации при разработке автономных беспроводных сетей «Интернета вещей» в промышленности, сельском хозяйстве и системах умного города, а также при создании систем мониторинга с распределенными сенсорными сетями, где важна минимизация энергопотребления при передаче больших объемов данных. Кроме того, результаты работы В.В. Иванова могут найти применение в системах компьютерного зрения для эффективной передачи видеоданных с низкими задержками и энергопотреблением, что

востребовано в системах управления беспилотными транспортными средствами, а также технологическими процессами на предприятиях нефтеперерабатывающей, коксохимической и химической промышленности.

Возможными изготовителями аппаратуры связи могут быть: АО «НПП «Радиосвязь» (г. Красноярск), ОАО «Завод Электросигнал» (г. Воронеж), АО предприятие «Ижевский радиозавод» (г. Ижевск) и другие предприятия РФ.

10. Замечания по работе

1. В разделах «Общая характеристика работы» автореферата и «Введение» диссертации недостаточно подробно раскрыта суть «Положений, выносимых на защиту».

2. В диссертации, к сожалению, не дана оценка предельных возможностей предложенных алгоритмов по энергетической эффективности с учетом реализации алгоритмов сжатия данных, которые также требуют увеличения затрат энергии и средств.

3. Недостаточно подробно рассмотрен вопрос влияния высокого уровня помех в канале связи на качество восстановления принятого сигнала и на искажения, возникающие при декодировании.

4. При рассмотрении применения КДП для сжатия изображений не в полной мере рассмотрен вопрос о выборе оптимальных параметров кластеризации в зависимости от характеристик изображения.

5. Отсутствие в диссертации сравнительного анализа вычислительной сложности предложенных алгоритмов с существующими методами не позволяет в полной мере оценить их эффективность для систем связи с ограниченными вычислительными ресурсами.

6. Проведенный в рамках диссертации сопоставительный анализ с другими диссертационными работами является неполным, так как не затронуты вопросы, рассмотренные в работах (см.¹), что и делает приведенный анализ неполным.

7. В списке литературы ряд ссылок (например, 74, 93, 94, 98, 122) оформлены на «английский манер», каждое слово заголовка начинается с заглавной буквы.

¹ 1) Воронков Г.С. Повышение энергетической эффективности автономных систем радиосвязи на основе методов дифференциального преобразования OFDM-сигналов. Уфа, 2017; 2) Резнев А.А. Исследование и разработка алгоритмов пространственно-временного кодирования для систем связи с несколькими передающими и несколькими приемными антеннами. Москва, 2020; 3) Токарь М. С. Дифференциальный метод передачи для систем связи с пространственно-временным кодированием. Санкт-Петербург, 2023.

8. Основная ценность научной работы – её способность предсказывать перспективы развития соответствующего направления. Однако в диссертации не раскрыто видение автором этих перспектив. Что может автор сказать о ближайших перспективах предложенных методов и алгоритмов?

Все отмеченные замечания в основном имеют редакционно-методический характер, существенно не снижают оценку качества выполненных исследований в целом и не влияют на впечатление от масштаба теоретической и прикладной ценности работы.

9. Заключение

Подводя итог изложенному выше анализу работы В.В. Иванова, можно отметить соответствующий для кандидатской диссертации объём выполненных исследований, новизну полученных результатов и их значение для практики. Материалы диссертации достаточно **полно опубликованы** в печати и доложены на научно-технических конференциях. Изложение материала последовательное и логичное, употребляемые термины и определения общеприняты в научной и технической литературе. Некорректных ссылок и **заимствований** материалов или отдельных результатов других авторов в диссертации не обнаружено. Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертации.

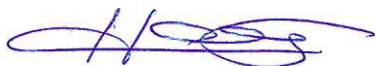
Диссертация В.В. Иванова представляет собой научно-квалификационную работу на актуальную тему, она отличается своим внутренним единством структуры и содержания. В ней на основании выполненных автором исследований **решена научная задача** – разработаны и обоснованы новые методы повышения эффективности кодирования сообщений в автономных инфокоммуникационных системах на основе координированной дифференциальной обработки однотипных первичных сигналов.

Считаем, что диссертация на тему: «Координированная дифференциальная обработка сигналов для эффективного кодирования сообщений многоканальных систем связи с однотипными каналами», соответствует требованиям п.п. 9-14 «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 (с изменениями и дополнениями), а её автор, Иванов Владислав Викторович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании кафедры Радиоэлектроники и телекоммуникаций Института радиоэлектроники и информационных технологий УрФУ 18 апреля 2025 года, протокол № 4.

Отзыв составили:

Профессор кафедры радиоэлектроники
и телекоммуникаций, д.т.н., доцент



Носков Владислав Яковлевич

«18» апреля 2025 г.

Докторская диссертация защищена по специальности 05.12.17 –
Радиотехнические и телевизионные системы и устройства.
Даю согласие на обработку персональных данных.

Профессор кафедры радиоэлектроники
и телекоммуникаций, д.т.н., профессор



Иванов Вячеслав Элизбарович

«18» апреля 2025 г.

Докторская диссертация защищена по специальности 05.12.04 – Радиотехника,
в том числе системы и устройства радионавигации, радиолокации и
телевидения.
Даю согласие на обработку персональных данных.

Профессор департамента
радиоэлектроники и связи, д.т.н., доцент



Малыгин Иван Владимирович

«18» апреля 2025 г.

Докторская диссертация защищена по специальности 2.2.16 – Радиолокация и
радионавигация.
Даю согласие на обработку персональных данных.

Доцент департамента радиоэлектроники
и связи, к.т.н., доцент



Лучинин Александр Сергеевич

«18» апреля 2025 г.

Кандидатская диссертация защищена по специальности 05.12.17 –
Радиотехнические устройства и системы связи.
Даю согласие на обработку персональных данных.

Заведующий кафедрой
радиоэлектроники и телекоммуникаций,
д.т.н., профессор



Шабунин Сергей Николаевич

« 18 » 04 2025 г.

Докторская диссертация защищена по специальности 05.12.07 – Антенны, СВЧ-устройства и их технологии

Даю согласие на обработку персональных данных.

e-mail: s.n.shabunin@urfu.ru

Телефон: (343) 375-48-86

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», 620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19, тел. +7 (343) 375-45-07; 375-46-09; 375-97-78 (факс), e-mail: rector@urfu.ru, сайт: <https://urfu.ru>