«УТВЕРЖДАЮ»
Первый проректор
ФГАОУ ВО
«Уральский федеральный
университет имени первого
Президента России Б.Н. Ельцина»,
доктор экономических наук, доцент
Кортов Сергей Всеволодович

«02» 11 2026 г.

О Т З Ы В

ведущей организации – Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (УрФУ)
о диссертации Алексакиной Яны Витальевны на тему: «Исследование параметров сигналов сверхширокополосных систем связи, повышающих их надежность в условиях помех», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

1. Актуальность темы и ее связь с планами отраслевой науки

За последние годы в сфере развития сетей связи произошел значительный прогресс, связанный с переходом к цифровой экономике и повсеместным внедрением автономных систем Интернета вещей (IoT). Однако существующие технологии передачи данных сталкиваются с ограничениями по энергоэффективности, помехоустойчивости и скрытности, особенно в условиях многолучевого распространения и преднамеренных помех. Решить возникающую проблему можно при переходе на принципиально новый механизм, позволяющий обеспечить устойчивую связь при низком энергопотреблении. Одним из перспективных подходов к решению проблемы является использование сверхширокополосных (СШП) сигналов, однако их практическая реализация требует учета случайного характера амплитуд многолучевых компонент и разработки адекватных математических моделей, что делает задачу анализа и синтеза таких систем своевременной и востребованной.

Одной из актуальных задач в этой области является разработка аналитических моделей СШП-приемника на основе RC-интегратора,

ВХОД. № 4477-13
«05» 11. 2026 г.

позволяющих получить замкнутые выражения для SINR и BER без ресурсоемкого имитационного моделирования. В отличие от традиционных подходов, метод, предложенный в диссертационной работе Алексакиной Я.В., основан на применении стохастических дифференциальных уравнений и совместим со всеми профилями CM1-CM8 стандарта IEEE 802.15.4a. Это позволяет заменить трудоемкие натурные испытания аналитическими оценками, что повышает практическую применимость технологии в телекоммуникационных системах и системах промышленного Интернета вещей.

Вышесказанное определяет актуальность диссертационной работы Алексакиной Яны Витальевны, непосредственно посвященной разработке и исследованию стохастических моделей СШП-систем связи. Тема диссертации соответствует приоритетным направлениям развития науки и техники.

2. Оценка структуры и содержания работы

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка сокращений и обозначений, списка литературы (162 наименования) и 3 приложений. Общий объем диссертации составляет 159 станиц, включающих в себя 20 рисунков и 16 таблиц.

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 существующих решений, связанных с приемом сигналов сверхширокополосных систем связи в условиях помех. В ней дается общая характеристика сверхширокополосных систем, рассматриваются стандарты, области применения и ключевые преимущества СШП-связи, факторы, ограничивающие надежность приема, архитектуры приемников СШП-сигналов, подходы к математическому моделированию и методы обеспечения помехоустойчивости и скрытности. Автором диссертации выявлены недостатки существующих решений, обсуждены достоинства и ограничения архитектур приемников СШП-сигналов в контексте их реализации и помехоустойчивости.

Во второй главе формируется и детально исследуется математический аппарат для анализа сигналов сверхширокополосной системы связи на приемнике с RC-интегратором. Вводится стохастическая модель сверхширокополосного приемника на основе уравнения Ланжевена и соответствующего уравнения Фоккера-Планка для плотности вероятности выходного напряжения, рассматриваются аналитические представления различных форм СШП-импульсов (гауссовский импульс, моноимпульс, дублет и параметрический сигнал) и выводится отклик на них RC-фильтра. На основе решений уравнения Фоккера-Планка получены замкнутые выражения для SINRи

BER при BPSK, выполнен сравнительный анализ типов импульсов, а также учтены преднамеренные помехи.

В третьей главе разработана математическая модель многолучевого СШП-радиоканала, совместимая с профилями CM1-CM8 стандарта IEEE 802.15.4a и исследованы статистические характеристики канала с использованием уравнения Фоккера-Планка. Сформулированы постановка задачи и допущения: канал рассматривается как нестационарный в широком смысле, описываемый суммой взвешенных и задержанных дельта-функций, где амплитуды и задержки подчиняются статистикам стандарта. Введен коэффициент эффективного числа лучей, а выбор распределения амплитуд (Рэлея, Райса, Накагами) осуществляется по критерию дивергенции Кульбака-Лейблера. Временная эволюция амплитуд описана уравнением Ланжевена, а стационарными решениями уравнения Фоккера-Планка являются распределения Рэлея (отсутствие прямой видимости) и Райса (условия прямой видимости), что соответствует стандарту.

В четвертой главе выполнены численные расчеты характеристик СШП-приемника на основе RC-интегратора в условиях многолучевых каналов IEEE 802.15.4a (CM1-CM8). Оценены эффективное SINR, BER запас по скрытности LPD четырех форм сигналов, показано, что моноимпульс обеспечивает вероятность битовой ошибки $1{,}07 \cdot 10^{-2}$ в канале CM1 против $1{,}87 \cdot 10^{-1}$ у гауссовского импульса при тех же условиях. Ранжирование сигналов по помехоустойчивости и скрытности совпадает: дублет занимает первое место по обоим показателям, а гауссовский импульс – последнее (при положительном значении скрытности), что означает его принципиальную уязвимость к пассивному радиомониторингу.

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. 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. 8 «Исследование проблем построения, планирования и проектирования высокоплотных и сверхплотных сетей для обеспечения реализации приложений

Интернета Вещей и разработка систем и устройств телекоммуникаций для этих сетей»;

п. 15 «Исследование и разработка новых сигналов, а также соответствующих модемов, кодеков, мультиплексоров и селекторов, обеспечивающих высокую надежность и качество обмена информацией в условиях воздействия внешних и внутренних помех».

4. Оформление диссертации в целом соответствует ГОСТ Р 7.0.11-2011. Автореферат диссертации соответствует установленным требованиям, обеспечивает 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

5.1. Разработана аналитическая модель RC-интегратора СШП-системы связи. Модель основана на стохастическом дифференциальном уравнении Фоккера-Планка для стохастической динамики огибающей выходного напряжения. Она отличается одновременным учетом случайного характера амплитуд многолучевых компонент, аддитивного шума и преднамеренных помех, и позволяет получить аналитические выражения для SINR и BER в замкнутой форме без ограничений гауссовского приближения.

5.2. Установлена зависимость SINR и BER от формы и параметров СШП-сигнала, основанная на оптимизации момента считывания T_{opt}, максимизирующего SINR и минимизирующего BER на выходе RC-интегратора, которая отличается учетом коэффициента корреляции преднамеренной помехи с полезным сигналом, и позволяющая обеспечить выигрыш по SINR 6-8 дБ для моноимпульса по сравнению с гауссовским импульсом; выполнено систематическое сопоставление гауссовского импульса, моноимпульса, дублета и параметрического сигнала в рамках единой модели.

5.3. Разработана стохастическая модель многолучевого СШП-канала, которая обеспечивает совместимость со всеми профилями CM1-CM8 стандарта IEEE 802.15.4a и учет нарастающего профиля задержки мощности для условий отсутствия прямой видимости (англ. Non-Line-of-Sight, NLOS), а также позволяет оценивать BER UWB-систем в реалистичных условиях распространения.

5.4. Разработан метод оценки запаса по скрытности передачи MLPD (англ. Margin to Low Probability of Detection) для импульсных СШП-систем на основе соотношения между SINR приемника и требуемой энергией обнаружения, который отличается прямым учетом параметров многолучевых каналов CM1-CM8 стандарта IEEE 802.15.4a и позволяет установить, что моноимпульс обеспечивает запас скрытности 0,6-0,7 в каналах с прямой видимостью и до 1,0 в каналах без прямой видимости (CM7-CM8).

Защищаемые научные положения, связанные с ними результаты работы и вытекающие из них рекомендации вполне **оригинальны**. Проектирование

предложенных алгоритмов формирования и обработки сигналов осуществляется на современном уровне с использованием имитационного моделирования характеристик каналов связи на основе метода Монте-Карло. Результаты теоретических исследований подтверждены данными численных экспериментов и сопоставлены с известными предельными случаями и опубликованными экспериментальными данными для моделей IEEE 802.15.4a. По теме диссертации опубликовано 10 научных работ и получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

6. Обоснованность и достоверность результатов диссертации основаны на использовании известных теоретических положений, корректности используемых математических моделей и их соответствии реальным физическим процессам, их обсуждении на научных конференциях, а также верификации аналитических выражений методом моделирования, согласованности с данными стандарта IEEE 802.15.4a и внедрении результатов диссертационной работы в рамках инициативных перспективных проектов в АО «НПП «Полигон».

7. Публикации по теме диссертации

По теме диссертации опубликовано 10 научных работ, в том числе 3 статьи в рецензируемых научных журналах из перечня ВАК, 6 работ в сборниках трудов и материалах конференции, получено одно 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 Я.В. Алексакиной предложены новые аналитические модели приемника на основе RC-интегратора и стохастические модели многолучевых каналов, описываемые уравнением Фоккера-Планка. Кроме того, разработаны математические методы оценки помехоустойчивости и скрытности, которые позволяют синтезировать параметры СШП-сигналов для многоканальной связи в условиях параметрической неопределенности.

Практическая значимость результатов диссертации состоит в том, что они способствуют созданию более совершенных средств связи нового поколения. Так, например, использование предложенных аналитических моделей позволяет сократить время проектирования и повысить скрытность СШП-систем без потери качества связи, а разработанные алгоритмы могут лежать в основе управления процессами обработки сигналов в адаптивных приемных устройствах, что востребовано во многих отраслях.

9. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы

Результаты, представленные в диссертационном исследовании, обладают значительным потенциалом для практического применения в различных

организациях и предприятиях, работающих в системах промышленного Интернета Вещей и системах связи с повышенными требованиями к скрытности.

10. Замечания по работе

1. Формулировки научных положений содержат конкретизацию объекта и предмета исследования, но не содержат логические суждения, выражающие причинно-следственные связи и конкретно описывающие открытые в ходе выполнения работы закономерности. Также часть положений не содержит утверждений и данных о границах их применимости.

2. В диссертации сформулированы 5 задач для исследования. Первая глава диссертация является обзорной. По названиям оставшихся трех оригинальных глав достаточно сложно определить, решению каких задач посвящена каждая из них.

3. При исследовании сложных сигналов импульсного характера хорошую эффективность обеспечивает применение Вейвлет-преобразований. В данной работе об этом нет упоминаний.

4. К сожалению, в работе отсутствуют результаты экспериментальных исследований – наиболее весомый аргумент для верификации проведенных теоретических исследований и компьютерного моделирования. Автор остановился на численном эксперименте, хотя грань между численным экспериментом и компьютерным моделированием весьма тонкая.

5. На рисунках 2.6 и 2.7 (стр. 55 и 56) приведены отклики RC-фильтра при использовании различных форм импульсов. Не понятно, для каких параметров входных сигналов. Чем обусловлены масштабы по осям абсцисс и ординат?

6. В выражении (3.4) (стр. 74) переменная τ заявлена, как «задержка распространения». Это стандартная переменная интегрирования в формуле свертки.

7. В разделе 3.6.1 заявлено, что «преднамеренные помехи – целенаправленные воздействия, создаваемые с целью нарушения функционирования UWB-системы (подавление, ослепление приемника) или обнаружения факта передачи». Однако об обнаружения факта передачи далее не говорится, хотя это представляет несомненный интерес.

11. Заключение

Подводя итог изложенному выше анализу работы Я.В. Алексакиной, можно отметить соответствующий для кандидатской диссертации объем 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.

Считаем, что диссертация на тему: «Исследование параметров сигналов сверхширокополосных систем связи, повышающих их надежность в условиях помех», соответствует требованиям п.п. 9–14 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 (с изменениями и дополнениями), а ее автор, Алексакина Яна Витальевна, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Отзыв рассмотрен и одобрен на расширенном заседании кафедры Радиоэлектроники и телекоммуникаций Института радиоэлектроники и информационных технологий-РТФ УрФУ 15 октября 2026 года, протокол № 9.

Отзыв составили:
Профессор кафедры радиоэлектроники и телекоммуникаций ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», доктор технических наук

Игнатков Кирилл Александрович
«22» 10 2026 г.
Докторская диссертация защищена по специальности 2.2.13 Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.
Даю согласие на обработку персональных данных.

Заведующий кафедрой радиоэлектроники и телекоммуникаций ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», доктор технических наук, профессор

Шабунин Сергей Николаевич
«23» 10 2026 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», 620062, Екатеринбург, ул. Мира, 19, тел. +7 (343) 375-45-07; 375-46-09; 375-97-78 (факс), e-mail: rector@urfu.ru, сайт: urfu.ru

ПОДПИСЬ Игнаткова К.А., Шабунина С.Н.
ЗАВЕРЯЮ.
УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ УРФУ
МОРОЗОВА В.А.

Управление по делопроизводству и общим вопросам