

УТВЕРЖДАЮ:

проректор по научной работе

ФГБОУ ВО «Уфимский
университет науки и технологий»

доктор физ-мат. наук, доцент

И.Ф. Шарафуллин



«20» ноя 2026 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Уфимский университет науки и технологий»

Диссертация «Исследование параметров сигналов сверхширокополосных систем связи, повышающих их надежность в условиях помех» выполнена на кафедре телекоммуникационных систем ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

В период подготовки диссертации соискатель Алексакина Яна Витальевна обучалась в очной аспирантуре ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» по специальности 2.2.15 Сети, системы и устройства телекоммуникаций и работала ассистентом кафедры телекоммуникационных систем ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

В настоящее время работает ассистентом кафедры телекоммуникационных систем ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

В 2022 г. окончила ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» по специальности 11.05.04 Инфокоммуникационные технологии и системы специальной связи с отличием.

В 2026 г. окончила очную аспирантуру ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» по направлению подготовки 2.2.15 Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана в 2026 г. ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Воронков Григорий Сергеевич, доцент кафедры телекоммуникационных систем ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

1. Диссертация Алексакиной Яны Витальевны является законченной научно-квалификационной работой, соответствующей п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением правительства

Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г. (в действующей редакции), в которой содержатся научно обоснованные результаты решения задачи повышения пропускной способности в оптических беспроводных каналах связи с помощью световых пучков, несущих орбитальный угловой момент.

2. Соискателем лично получены все основные результаты, выносимые на защиту:

- аналитическая модель РС-интегратора СШП-системы связи, основанная на стохастическом дифференциальном уравнении Фоккера-Плака для стохастической динамики огибающей выходного напряжения. Данная модель 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;

- установленная зависимость SINR и BER от формы и параметров СШП-сигнала, основанная на оптимизации момента считывания T_{opt} , максимизирующего SINR и минимизирующего BER на выходе РС-интегратора. Зависимость отличается учетом коэффициента корреляции преднамеренной помехи с полезным сигналом и позволяет обеспечить выигрыш по SINR 6-8 дБ для моноимпульса по сравнению с гауссовским импульсом;

- стохастическая модель многолучевого СШП-канала, основанная на уравнении Фоккера-Планка для временной эволюции распределения амплитуд многолучевых компонент. Модель отличается совместимостью со всеми профилями CM1-CM8 стандарта IEEE 802.15.4a и учетом нарастающего профиля задержки мощности для условий отсутствия прямой видимости (англ. Non-Line-of-Sight, NLOS) и позволяет оценивать BER СШП-систем в реалистичных условиях распространения.

- метод оценки запаса по скрытности передачи MLPD (англ. Margin to Low Probability of Detection) для импульсных СШП-систем, основанный на соотношении между SINR приемника и требуемой энергией обнаружения. Метод 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).

В перечисленных в диссертации работах соискателем лично получены следующие результаты:

- в работах [117], [125] проведен сравнительный анализ форм СШП-импульсов – гауссовского моноимпульса, дублета и параметрического сигнала – на основе стохастической модели РС-приемника, построенной с применением уравнения Фоккера-Планка.

- в работе [128] исследовано влияние преднамеренных помех на характеристики СШП-сигналов в рамках расширенной модели Фоккера-Планка; проведен сравнительный анализ помехоустойчивости гауссовского импульса и моноимпульса при воздействии заградительной и прицельной помех.

- в работе [143] разработана стохастическая модель СШП-радиоканала на основе уравнения Фоккера-Планка, описывающая временную динамику амплитуд многолучевых компонент.

- в работах [125], [131], [134] представлен анализ оптимальных форм сигналов для устойчивой передачи данных в СШП-сетях, включая сравнение гауссовского импульса, моноимпульса и дублета.

- в работах [132-134, 142] рассмотрены вопросы временной и стохастической оптимизации СШП-передачи, моделирования радиоканала СШП-системы связи и анализа воздействия узкополосных и преднамеренных помех на импульсные СШП-радиосистемы.

- в работе [14] рассмотрены перспективы применения технологий 5G и туманных вычислений в системах интернета вещей как контекст для обоснования актуальности СШП-решений в инфокоммуникационных сетях.

Опубликованные работы полностью отражают основное содержание диссертационной работы.

Все основные положения и результаты, выносимые на защиту, отражены в публикациях автора: по главе 1 – [14], [125], [132]; по главе 2 – [117], [128], [131], [133], [134]; по главе 3 – [142], [143]; по главе 4 – [128], [143]. Три работы написаны автором совместно с научным руководителем или другими членами научного коллектива, остальные написаны единолично.

3. Достоверность полученных результатов и выводов обеспечивается строгостью математического аппарата – применением уравнений Ланжевена и Фоккера-Планка, хорошо зарекомендовавших себя в теории стохастических систем; верификацией аналитических выражений для SINR и BER методом Монте-Карло (10^6 независимых реализаций); согласованностью результатов с известными частными случаями – в канале с аддитивным белым гауссовским шумом модель воспроизводит классическую формулу $BER = Q(\sqrt{SINR})$ для BPSK; соответствием параметров канала экспериментально верифицированным моделям стандарта IEEE 802.15.4a (CM1-CM8). Результаты работы апробированы на научных конференциях, опубликованы в изданиях из Перечня ВАК и подтверждены актами о внедрении в образовательную и производственную сферы.

4. Научная новизна работы заключается в следующем:

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

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, отличающаяся* 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.

3. Разработана стохастическая модель многолучевого СШП-канала, *основанная* на уравнении Фоккера-Планка для временной эволюции распределения амплитуд многолучевых компонент, *отличающаяся* совместимостью со всеми профилями CM1-CM8 стандарта IEEE 802.15.4a и учетом нарастающего профиля задержки мощности для условий отсутствия прямой видимости (англ. Non-Line-of-Sight, NLOS), и *позволяющая* оценивать BER СШП-систем в реалистичных условиях распространения.

4. Разработан метод оценки запаса по скрытности передачи MLPD (англ. Margin to Low Probability of Detection) для импульсных СШП-систем, *основанный* на соотношении между SINR приемника и требуемой энергией обнаружения, *отличающийся* прямым учетом параметров многолучевых каналов CM1-CM8 стандарта IEEE 802.15.4a, и *позволяющий* 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).

5. Практическая значимость заключается в следующем:

- разработанная аналитическая модель RC-приемника на основе уравнения Фоккера-Планка, отличающаяся учетом одновременного воздействия многолучевого канала и преднамеренных помех, позволяет получать замкнутые выражения для SINR и BER без ограничений гауссовского приближения и может быть непосредственно использована при проектировании приемного тракта СШП-систем стандарта IEEE 802.15.4a/4z.

- разработанная методика сравнительного анализа форм СШП-импульсов, основанная на совместной оценке помехоустойчивости и скрытности через показатель M_{LPD} , позволяет обоснованно выбирать форму зондирующего сигнала в зависимости от сценария применения и требований к скрытности передачи;

- предложенные рекомендации по выбору параметров сигнала для профилей канала CM1-CM8 стандарта IEEE 802.15.4a позволяют обеспечить требуемый компромисс между помехоустойчивостью, скрытностью и сложностью схемотехнической реализации при проектировании маломощных узлов промышленного интернета вещей.

Результаты диссертационного исследования использованы в рамках инициативных перспективных проектов АО «НПП «Полигон»:

1. Стохастическая модель многолучевого СШП-канала, основанная на уравнении Фоккера-Планка для временной эволюции распределения амплитуд многолучевых компонент, позволяющая оценивать BER СШП-систем в реалистичных условиях распространения без проведения натурных испытаний, что позволило сократить время разработки оборудования.

2. Метод оценки запаса по скрытности передачи MLPD (англ. Margin to Low Probability of Detection) для импульсных СШП-систем, как метрика качества разрабатываемого оборудования.

Также результаты диссертационного исследования внедрены и применяются в учебном процессе при проведении практических и лабораторных занятий по дисциплинам «Цифровая обработка сигналов», «Радиоприемные и радиопередающие устройства», «Общая теория связи» специальностей 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи и 11.05.04 Инфокоммуникационные технологии и системы специальной связи в ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и техники».

6. Ценность научных работ заключается в том, что:

Результаты исследований дополняют и конкретизируют общие представления о характеристиках сверхширокополосных сигналов в условиях многолучевого распространения и преднамеренных помех, а также о возможностях некогерентного РС-приемника как энергоэффективного решения для систем промышленного интернета вещей. Полученные аналитические результаты и практические рекомендации являются основой для дальнейшего совершенствования приемных трактов СШП-систем стандарта IEEE 802.15.4a/4z, в том числе в направлении адаптивного выбора формы сигнала, расширения модели на ММО-конфигурации и исследования помехоустойчивости при воздействии нестационарных и ретрансляционных помех.

7. Обоснование выбранной специальности и отрасли науки диссертации

Диссертация соответствует паспорту специальности 2.2.15 - Системы, сети и устройства телекоммуникаций, при этом работа соответствует следующим пунктам паспорта специальности:

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 сверх плотных 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».

Отрасль науки – технические науки, поскольку полученные результаты имеют непосредственное инженерное применение, направлены на повышение технических характеристик сверхширокополосных систем связи (помехоустойчивости, энергетической эффективности, скрытности, достоверности приема) и могут быть использованы при проектировании, оптимизации и сертификации реальных устройств беспроводной связи.

8. Полнота изложения материалов диссертации

Основные результаты диссертации опубликованы в 10 научных изданиях, в том числе 3 статьи в научных изданиях из Перечня рецензируемых научных

изданий, рекомендованных ВАК, 7 статей в других изданиях, 1 свидетельство о регистрации программы ЭВМ. Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных автором, достаточная.

Отрасль науки – технические науки, поскольку полученные результаты имеют непосредственное инженерное применение, направлены на повышение технических характеристик сверхширокополосных систем связи (помехоустойчивости, энергетической эффективности, скрытности, достоверности приема) и могут быть использованы при проектировании, оптимизации и сертификации реальных устройств беспроводной связи.

8. Полнота изложения материалов диссертации

По материалам диссертации опубликовано 10 научных работ, в том числе 3 статьи в рецензируемых научных журналах из перечня ВАК, 1 в научных изданиях, входящих в РИНЦ, 6 работ в сборниках трудов и материалах конференций (из которых 5 публикаций входят в базу цитирования РИНЦ). Получено свидетельство на результат интеллектуальной деятельности: 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

Общий объем публикаций – 2,75 п. л., авторский вклад – 2,5 п. л.

Статьи в научных изданиях из Перечня рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК

1. Анализ гауссовского импульса, моноимпульса, дублета и параметрического сигнала в UWB-системах на основе уравнения Фоккера-Планка / Алексакина Я.В. // Инфокоммуникационные технологии. – 2026. – Том 24, №1 (93) – С. 33-39.

2. Исследование влияния преднамеренных помех на UWB-сигналы с моделях Фоккера-Планка: сравнительный анализ гауссовского импульса и моноимпульса / Алексакина Я.В. // Телекоммуникации. – 2026. – №09-2026 – С. 2-11.

3. Сравнительный анализ моноимпульса и гауссовского импульса в UWB-системах на основе уравнения Фоккера-Планка / Алексакина Я.В., Г.С. Воронков, А.Х. Султанов, И.В. Кузнецов // Радиотехника. – 2026. – Т. 90, №6 – С. 76-89.

Другие публикации по теме диссертации

4. 5G и туманные вычисления - будущее IoT / Я. В. Алексакина, Г. С. Воронков // VII научный форум телекоммуникации: Теория и технологии ТТТ-2024 : Материалы XXVI Международной научно-технической конференции, Самара, 06–08 ноября 2024 года. – Самара: Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2024. – С. 389-390.

5. Исследование оптимальных сигналов для устойчивой передачи данных в сверхширокополосных (UWB) сетях / Я. В. Алексакина // Мавлютовские чтения : Материалы XIX Всероссийской молодежной научной конференции. В 8-ми томах, Уфа, 24–28 ноября 2025 года. – Уфа: Уфимский университет науки и технологий, 2025. – С. 270-274.

6. Временная и стохастическая оптимизация передачи данных с использованием импульсных UWB-сигналов / Я. В. Алексакина, Г. С. Воронков, А. Х. Султанов // Проблемы техники и технологии телекоммуникаций. Оптические технологии в телекоммуникациях : материалы XXVII и XXIII Международных научно-технических конференций, Уфа, 05–07 ноября 2025 года. – Уфа: Уфимский университет науки и технологий, 2025. – С. 265-266.

7. Сравнительный анализ форм UWB-импульсов: гауссовский импульс, моноимпульс и дублет / Я.В. Алексакина // Исследование различных направлений современной науки: естественные и технические науки: сборник материалов LXIII-ой международной очно-заочной научно-практической конференции, Москва, 11 февраля 2026 года. – Москва: ЧОУ ДПО «МИМЭ», НОЦ «Вектор», 2026. – С. 12-13.

8. Анализ воздействия узкополосных и преднамеренных помех на IR-UWB системы связи / Я.В. Алексакина // Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы – 2026: Материалы XIII Международной молодежной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Казань, 08-10 апреля 2026 года – Казань: Казанский национальный технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, 2026 – С. 46-47.

9. Моделирование радиоканала сверхширокополосной системы связи / Я.В. Алексакина // Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы – 2026: Материалы XIII Международной молодежной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Казань, 08-10 апреля 2026 года – Казань: Казанский национальный технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, 2026 – С.47-49.

10. Стохастическая модель UWB-радиоканала на основе уравнения Фоккера-Планка / Я.В. Алексакина // Молодежный Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2026. – №2 – С. 30-37.

Регистрация результатов интеллектуальной деятельности

11. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2026618490 Российская Федерация. Программа численного моделирования и сравнительного анализа UWB-импульсов в условиях помех : заявл. 17.03.2026 : опубл. 25.03.2026 / Я. В. Алексакина ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский университет науки и технологий».

Диссертация Алексакиной Яны Витальевны соответствует п. 14 Положения о порядке присуждении ученых степеней:

- отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации;

- соискатель ссылается на авторов и источники заимствования.

Диссертация «Исследование параметров сигналов сверхширокополосных систем связи, повышающих их надежность в условиях помех» Алексакиной Яны Витальевны рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций

Заключение принято на заседании кафедры телекоммуникационных систем ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Присутствовало на заседании 23 человек, в том числе 5 докторов наук по научной специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Результаты голосования: «за» – 22 человек, «против» – нет, «воздержалось» – нет.

Алексакина Я.В. в голосовании участия не принимала.

Протокол №9 от «18» июня 2026 г.

Профессор кафедры телекоммуникационных систем, д.т.н., профессор

А.Х. Султанов А.Х. Султанов

