

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.286.03,

СОЗДАННОГО НА БАЗЕ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Воронежский государственный технический университет»,

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации,

ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело _____

решение диссертационного совета от 11.12.2025 № 55

О присуждении Фаустову Ивану Сергеевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Обнаружение сигналов и идентификация источников радиоизлучений многоканальными системами радиоконтроля» по специальности 2.2.13. Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения принята к защите 9.10.2025 г. (протокол заседания № 54) диссертационным советом 24.2.286.03, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный технический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, д.84 (приказ о создании диссертационного совета от 26.01.2018 № 86/нк).

Соискатель Фаустов Иван Сергеевич, 17 июня 1997 года рождения, в 2021 году окончил специалитет ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» по направлению подготовки 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы». В 2025 году окончил аспирантуру ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» по направлению подготовки 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи. Работает научным сотрудником научно-исследовательского сектора АО «ИРКОС» (г. Москва).

Диссертация выполнена на кафедре радиотехники федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный технический университет».

Научный руководитель - доктор технических наук, доцент Токарев Антон

Борисович, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный технический университет», кафедра радиотехники, профессор.

Официальные оппоненты:

- Кошелев Виталий Иванович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой радиотехнических систем ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет имени В. Ф. Уткина»;

- Сличенко Михаил Павлович – доктор технических наук, руководитель программ научно-технического управления научно-технического центра «РЭБ и спецсвязь АО «Концерн «Созвездие», дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина) в своем положительном отзыве, подписанном Малышевым Виктором Николаевичем, доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой РЭС, Подстригаевым Алексеем Сергеевичем, доктором технических наук, доцентом, профессором кафедры РЭС, Шевченко Майей Евгеньевной, кандидатом технических наук, доцентом, доцентом кафедры РЭС и утвержденном проректором по научной и инновационной деятельности СПбГЭТУ, доктором технических наук, доцентом Семеновым Александром Анатольевичем, указала, что диссертационная работа Фаустова И. С. представляет собой логически обоснованную, завершенную научно-исследовательскую работу, посвященную многоканальной обработке сигналов широко распространенных систем связи Wi-Fi, ZigBee, Bluetooth, а также обнаружению и анализу периодических импульсных сигналов, которые используются во многих приложениях, в частности, в радиолокации. Диссертация содержит комплекс научно обоснованных технических решений, вносящих значительный вклад в развитие радиочастотных служб России. Научные положения, результаты и выводы диссертации обоснованы, достоверны и достаточно полно отражены в публикациях, в том числе и по перечню ВАК. Автореферат правильно отражает содержание

диссертации.

Диссертация И. С. Фаустова по содержанию, публикациям и новизне основных результатов, их научной и практической значимости соответствует пунктам 1, 5, 6, 10 паспорта специальности и требованиям п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а её автор – Фаустов Иван Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13. Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

Соискатель имеет 13 опубликованных работ по теме диссертации, из них 8 статей в ведущих рецензируемых научных журналах из Перечня ВАК, 1 работу в издании, индексируемом в базе данных Scopus и Web of Science, и 4 доклада на научно-технических конференциях и семинарах. Общий объем публикаций по теме диссертации - 13,17 усл. печ. л., из которых 9,88 усл. печ. л. принадлежит соискателю. В работах, опубликованных в соавторстве, лично автору принадлежат следующие результаты: разработка и исследование характеристик алгоритма разнесенного приема сигналов ZigBee, включая обнаружение, частотно-временную синхронизацию и демодуляцию, многоканального алгоритма обнаружения и частотно-временной синхронизации сигналов Wi-Fi, методики обнаружения и частотно-временной синхронизации сигналов Bluetooth с неизвестным кодом доступа, алгоритмов обнаружения и оценки параметров периодических импульсных сигналов с неизвестными периодом, длительностью и формой импульсов, радиочастотным заполнением, а также анализ особенностей внедрения разработанных алгоритмов в системы радиоконтроля.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Фаустов И. С. Радиоконтроль служебных параметров сигналов Bluetooth / И. С. Фаустов, А. Б. Токарев, В. А. Сладких, В. А. Козьмин, И. Б. Крыжко // Системы управления, связи и безопасности. – 2021. – № 3. – С. 135-151.
2. Фаустов И. С. Адресное пеленгование устройств ZigBee / И. С. Фаустов, А. Б. Токарев // Радиотехника. – 2023. – Т. 87, № 8. – С. 83-88.

3. Фаустов И. С. Реализация разнесенного приема при радиоконтроле частотно-модулированных сигналов / И. С. Фаустов, А. Б. Токарев, А. В. Козьмин // Радиотехника. – 2024. – Т. 88, № 7. – С. 26-30.

4. Фаустов И. С. Разнесенный прием сигналов Wi-Fi с использованием коммутируемой антенной решетки / И. С. Фаустов, В. Б. Манелис, В. А. Козьмин, А. Б. Токарев // Труды учебных заведений связи. – 2025. – Т 11, №1. –С. 53-61.

5. Фаустов И. С. Разнесенный прием сигналов ZigBee в условиях коррелированных замираний / И. С. Фаустов, В. Б. Манелис // Системы управления, связи и безопасности. – 2025. – № 1. – С. 220-231.

6. Манелис В. Б. Обнаружение, оценка параметров и пеленгование периодических импульсных сигналов / В. Б. Манелис, И. С. Фаустов, В. А. Козьмин // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. –2025. – Т. 28, №2 – С. 73-84.

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

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Воловач В. И., д.т.н., доцент, и.о. директора Высшей школы передовых производственных технологий ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет сервиса», отзыв положительный, замечания: 1) Из текста автореферата не ясно, сколько итераций было проведено для каждой точки на графиках, отражающих результаты моделирования. При этом кривые выглядят «гладкими», и качество их представления можно считать удовлетворительным. Было бы полезно привести сведения об основных параметрах моделирования, чтобы можно было точнее оценивать погрешности представленных в работе результатов. 2) Автореферат содержит очень мало аналитических выражений. Из его текста неясно, какие именно формулы для расчета пакетной ошибки использовались применительно к различным проанализированным стандартам.

2. Пантенков Д. Г., к.т.н., главный инженер проектов ООО «Сибирская навигационная компания», отзыв положительный, замечания: 1) В алгоритмах обнаружения и частотно-временной синхронизации фигурируют пороговые значения

(например, h в формулах (3), (5), (9), (11) и (14)), однако в тексте автореферата отсутствуют рекомендации по их выбору, не разъяснена их зависимость от уровня шума, типа канала или других параметров. Кроме того, неясно, как определялись пороги для кривых на рисунках 1–7, что снижает воспроизводимость результатов моделирования и экспериментов. 2) В тексте автореферата отсутствует какая-либо информация о масштабируемости предложенных автором методик и алгоритмов для систем с большим числом антенных элементов (более 4).

3. Хохлов Н. С., д.т.н., профессор, профессор кафедры инфокоммуникативных систем и технологий Воронежского института МВД России, отзыв положительный, замечания: 1) В автореферате диссертации нет сведений о какой-либо экспериментальной проверке показателей качества процедуры обнаружения периодических импульсных сигналов. Было бы полезно в рамках 5-го раздела диссертации произвести экспериментальное оценивание вероятности успешного обнаружения-идентификации подобных сигналов и сопоставить результаты экспериментальных исследований с данными численного моделирования для надёжного определения степени превосходства предлагаемых соискателем решений по отношению к уже применяемым на практике техническим подходам. 2) При анализе эффективности многоканальных алгоритмов обнаружения и частотно-временной синхронизации рекомендуется рассмотреть вариант, базирующийся на реализации независимой синхронизации в каждом из каналов.

4. Приоров А. Л., д.т.н., доцент, профессор кафедры цифровых технологий и машинного обучения ФГБОУ ВО «Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова», отзыв положительный, замечания: 1) В представленной работе детально рассмотрены идеализированные модели, включая случаи релейских замираний и предельные режимы полной либо нулевой корреляции антенных элементов. Вместе с тем, в автореферате целесообразно было бы уделить больше внимания анализу практических ограничений и факторов, влияющих на применимость предложенных моделей в реальных условиях. В частности, следовало бы более детально проанализировать вопросы синхронизации распределённых приёмных устройств, оценить допустимые значения ошибок синхронизации каналов

приёма, а также исследовать влияние указанных ошибок на показатели производительности разработанных решений. 2) При анализе экспериментальных данных автор делает вывод о корреляции сигналов на основании близкого расположения приёмных антенн. Было бы полезно подтвердить этот вывод количественной оценкой степени корреляции, чтобы повысить обоснованность результатов.

Выбор официальных оппонентов обосновывается их высокой компетентностью в области радиоконтроля, обнаружения и идентификации радиосигналов, наличием публикаций в соответствующей сфере исследования, а также их согласием.

Выбор ведущей организации обоснован ее широкой известностью своими достижениями в области радиотехники, в частности, в разработке и исследовании алгоритмов обнаружения и оценки параметров радиосигналов, способностью определить научную и практическую ценность диссертации, а также ее согласием; направление научно-исследовательской деятельности структурного подразделения (кафедра радиоэлектронных систем) соответствует теме диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны: методика обнаружения и частотно-временной синхронизации для сигналов Bluetooth, обеспечивающая прием как широкополосных пакетов, так любых других пакетов, определяемых стандартом Bluetooth; алгоритм разнесённого приёма сигналов Bluetooth обеспечивающий когерентное сложение сигналов различных антенных элементов; алгоритм разнесенного приема сигналов ZigBee, включая обнаружение, частотно-временную синхронизацию и демодуляцию, позволяющий минимизировать вероятность битовых ошибок при значительной нестабильности рабочей частоты источника сигнала; многоканальный алгоритм обнаружения и частотно-временной синхронизации сигналов Wi-Fi, обеспечивающий более точную оценку частотной расстройки и временного положения фрейма; алгоритм обнаружения, оценки параметров периодического импульсного сигнала в условиях априорной неопределенности о структуре сигнала, обеспечивающий

идентифицировать источник радиосигнала в сложных условиях приема.

предложено: использовать информацию со всех доступных антенных элементов при обнаружении и частотно-временной синхронизации сигналов Wi-Fi и ZigBee; использовать сочетание когерентного накопления сигнала в пределах коротких интервалов с последующим некогерентным сложением при обнаружении и синхронизации сигналов ZigBee; методику расчета весовых коэффициентов на основе корреляционной обработки при когерентном сложении сигналов Bluetooth; использовать разрозненные короткие участки кодового слова при обнаружении и синхронизации сигналов Bluetooth; использовать свойства автокорреляционной функции и поперiodное усреднение для обнаружения и оценки параметров периодического импульсного сигнала.

доказана перспективность использования многоканальных алгоритмов обработки сигналов современных беспроводных систем связи Wi-Fi, ZigBee, Bluetooth в системах радиоконтроля с несколькими антенными элементами; алгоритмов анализа автокорреляционной функции при обнаружении периодической компоненты сигнала; поперiodного усреднения для оценки длительности и формы импульса.

Теоретическая значимость работы обоснована тем, что:

доказана эффективность разработанных алгоритмов и методики многоканальной обработки сигналов Wi-Fi, ZigBee, Bluetooth, а также алгоритмов обнаружения и анализа периодических импульсных сигналов. Показано, что максимальный выигрыш от использования разнесенного приема имеет место в случае отсутствия корреляции приемных антенн и составляет более 11 дБ для $N_{RX} = 2$ и более 18 дБ – для $N_{RX} = 4$ (N_{RX} – количество приемных антенн, уровень пакетной ошибки $\bar{P}_e = 0,01$). Существенный выигрыш наблюдается также и в случае высокой корреляции между сигналами АЭ, например, при корреляции на уровне 0,8 выигрыш составляет более 9 дБ для $N_{RX} = 2$ и более 14 дБ – для $N_{RX} = 4$. Алгоритмы обнаружения и оценки параметров периодического импульсного сигнала успешно функционируют при низких отношениях сигнал/шум, например при скважности 40 до ОСШ, равного -15 дБ, при скважности 160 до ОСШ, равного -10 дБ.

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использованы математический аппарат теории вероятностей и математической статистики, методы математического моделирования и экспериментального исследования;

изложены основные критерии, подходы, методы и этапы разработанных алгоритмов и методик обработки сигналов Wi-Fi, ZigBee, Bluetooth. Получены аналитические выражения для оценки помехоустойчивости разнесенного приема исследуемых сигналов. Представлены результаты моделирования разработанных методики и алгоритмов;

раскрыты особенности влияния корреляции сигналов антенных элементов на помехоустойчивость многоканальной обработки сигналов Wi-Fi, ZigBee, Bluetooth;

изучены факторы, влияющие на процессы обнаружения и идентификации радиосигналов многоканальными системами радиоконтроля;

проведена модернизация существующих алгоритмов обработки сигналов Wi-Fi, ZigBee, Bluetooth, а также алгоритмов обнаружения и анализа периодических импульсных сигналов.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

результаты исследования **внедрены** в производственную деятельность АО «ИРКОС»;

определены возможности применения разработанных методики и алгоритмов в аппаратуре радиоконтроля;

созданы методика и алгоритмы многоканальной обработки сигналов Wi-Fi, ZigBee, Bluetooth, обработки и анализа периодических импульсных сигналов;

представлены рекомендации по применению разработанных методик и алгоритмов при модернизации существующих и разработке перспективных систем радиоконтроля.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ:

разработанные методика и алгоритмы обработки исследуемых сигналов были

реализованы в программном виде; достоверность результатов подтверждается согласованием показателей помехоустойчивости разнесённого приёма сигналов Bluetooth, ZigBee и Wi-Fi, полученных в ходе моделирования, расчётов и экспериментов. Полученные выводы демонстрируют возможность эффективного применения сравнительно близко расположенных элементов АР при разнесённом приёме сигналов исследуемых сигналов.

теория согласуется с данными экспериментальных и теоретических исследований многоканальной обработки сигналов, проведенных в России и за рубежом и опубликованных в работах Андропова И. С., Финка Л. М., Rappoport T., Foschini J., Barry J. R., Cho Y. S., Манелиса В. Б., Ермолаева В. Т., Флаксмана А. Г.

идея базируется на использовании информации со всех доступных антенных элементов при обнаружении, частотно-временной синхронизации и демодуляции сигналов Bluetooth, ZigBee, Wi-Fi; сочетании когерентного накопления сигнала в пределах коротких интервалов с последующим некогерентным сложением при обнаружении и частотно-временной синхронизации сигналов ZigBee; корреляционной обработке сигналов Bluetooth при реализации их когерентного сложения; использовании разрозненных участков при обнаружении и временной синхронизации сигналов Bluetooth; использовании автокорреляционных свойств принимаемого сигнала и поперiodного накопления для обнаружения, оценки параметров и идентификации периодических импульсных сигналов;

использовано сравнение авторских данных и результатов, полученных ранее по рассматриваемой в диссертации тематике;

установлено качественное и количественное соответствие отдельных результатов диссертации с результатами, представленными в работах, посвященных обнаружению и идентификации сигналов системами радиоконтроля.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии на всех этапах работы над диссертацией, включая теоретические исследования, разработку методики и алгоритмов обработки исследуемых сигналов, апробацию результатов исследования, проведение экспериментальных исследований, подготовку основных публикаций по выполненной работе.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

На заседании 11.12.2025 года диссертационный совет принял решение: за решение научно-технической задачи, имеющей значение для развития теории, техники и технологии радиоконтроля, и обеспечивающей повышение помехоустойчивости приема радиосигналов и идентификации их источников, присудить Фаустову И. С. учёную степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 12 человек, из них 5 докторов наук по специальности 2.2.13. Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения, участвовавших в заседании, из 17 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 12, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета

Учёный секретарь
диссертационного совета



Макаров
Олег Юрьевич

Фёдоров
Сергей Михайлович

11 декабря 2025 г.