

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора технических наук, руководителя программ научно-технического управления научно-технического центра «РЭБ и спецсвязь» АО «Концерн «Созвездие» Сличенко Михаила Павловича на диссертационную работу Фаустова Ивана Сергеевича «Обнаружение сигналов и идентификация источников радиоизлучений многоканальными системами радиоконтроля», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13. Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения

### Актуальность темы диссертационного исследования.

Стремительное развитие беспроводных систем связи (БСС) и связанное с ним неуклонное усложнение радиообстановки порождает потребность в совершенствовании средств радиоконтроля (РК), обеспечивающих обнаружение сигналов БСС и локализацию формирующих эти сигналы источников радиоизлучения (ИРИ). Проблемы повышения чувствительности и расширения множества сигналов, выявляемых и обрабатываемых комплексами РК, постоянно находятся в фокусе внимания исследователей, оставаясь актуальными вследствие изменений граничных условий осуществления измерений, доступной измерительной аппаратуры, критериев и требований, предъявляемых к получаемым результатам.

Многие современные комплексы РК оснащены многоканальными радиоприёмными устройствами (РПУ) и многоэлементными антенными решётками, предназначенными для реализации пеленгования ИРИ. Однако вопросы локализации ИРИ, как правило, осложняются тесным сосуществованием в эфире многих средств и систем связи, что порождает необходимость не просто фиксировать факт существования в окрестности РПУ радиоконтроля каких-то ИРИ, но идентифицировать принадлежность наблюдаемых сигналов конкретному источнику. Таким образом, оказывается актуальной комплексная научно-прикладная задача, включающая

обнаружение, оценку параметров сигналов, идентификацию и локализацию источников радиоизлучений (ИРИ).

В отечественных и зарубежных технических публикациях можно найти рекомендации по решению рассматриваемой комплексной задачи, однако ряд направлений, позволяющих рассчитывать на повышение эффективности работы аппаратуры РК, остаются недостаточно исследованными. В частности, существует довольно незначительное количество публикаций, учитывающих, что наличие многоканальных РПУ позволяет:

– на этапе обнаружения и частотно-временной синхронизации использовать преимущества многоканальной обработки сигналов, что увеличивает помехоустойчивость приема и, тем самым, позволяет расширить зону действия приемной аппаратуры РК;

– улучшить качество идентификации ИРИ при наличии замираний и/или низкого отношения сигнал/шум.

Перечисленные обстоятельства указывают на необходимость и целесообразность развития методики обнаружения сигналов и идентификации источников радиоизлучений многоканальными системами РК, а потому диссертация И. С Фаустова, направленная на решение соответствующего комплекса задач, является весьма *своевременным и актуальным исследованием.*

#### **Степень обоснованности научных результатов, положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.**

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, базируется на:

а) использовании при разработке технических решений *общенаучных и специальных методов исследования* (апробированных принципов и методов синтеза алгоритмов обработки сигналов, аппарата теории вероятностей и математической статистики, основ теории статистических решений, методов статистического моделирования), *которые адекватны решаемым задачам;*

б) подробном *статистическом моделировании* всех основных методов и алгоритмов, тщательном *физическом анализе* полученных результатов и их *сопоставлении* с имеющимися в открытой литературе данными других исследователей.

Основные результаты работы полностью отражены в публикациях, общее число которых составляет 13 научных работ, в том числе 8 статей в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК РФ, 1 работа в издании, индексируемом в международных цитатно-аналитических базах

данных Web of Science и Scopus, и 4 доклада на научно-технических конференциях.

**Достоверность** большинства защищаемых научных положений подтверждена практикой: внедрением и использованием результатов исследования в аппаратуре РК, выпускаемой НПП АО «ИРКОС», а также сравнительным анализом результатов статистического моделирования разработанных в диссертации технических решений и альтернативных подходов, представленных в научной литературе.

**Новизна научных результатов положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.**

*Научная новизна* технических решений, предложенных соискателем, состоит в том, что в диссертации:

а) *проанализированы* незадействованные в типовых решениях аппаратные ресурсы, которые могут служить источниками повышения качества обработки сигналов;

б) *получены новые научные результаты*, в частности:

1. Методика обнаружения и частотно-временной синхронизации для сигналов Bluetooth, которая отличается возможностью обработки сигналов с неизвестным кодом доступа и обеспечивает решение задач обнаружения и идентификации устройств в условиях пассивного РК.

2. Алгоритм разнесенного приема сигналов Bluetooth, который отличается использованием корреляционной обработки при поиске весовых коэффициентов и обеспечивает помехоустойчивость близкую к оптимальному весовому сложению для сигналов с неизвестным кодом доступа.

3. Алгоритмы обнаружения и частотно-временной синхронизации сигналов Wi-Fi и ZigBee, которые отличаются использованием двух и более каналов приема и позволяют повысить точность оценки частотной расстройки и временного положения пакетов.

4. Алгоритм приема сигналов O-QPSK с DSSS, отличающийся итеративной частотной подстройкой и позволяющий минимизировать вероятность битовых ошибок при значительной нестабильности рабочей частоты устройств ZigBee.

5. Алгоритм обработки периодических импульсных сигналов на основе свойств автокорреляционной функции, отличающийся возможностью идентификации и оценки параметров импульса (форма, длина) периодического сигнала и обеспечивающий решение задач РК при наличии помех от других ИРИ.

**Значимость научных результатов, положений, выводов рекомендаций, сформулированных в диссертации.**

Значимость результатов исследований И.С. Фаустова для разработчиков аппаратуры РК проявляется в следующем:

а) приросте помехоустойчивости приёма сигналов в релейском канале на величину от 3 до 18 дБ в зависимости от количества АЭ и корреляции сигналов, получаемых от разных АЭ;

б) расширении множества (типов) пакетов стандарта IEEE 802.15.1 (Bluetooth), принимаемых и анализируемых при пассивном РК, что увеличивает число обнаруживаемых устройств;

в) обеспечении эффективного обнаружения и идентификации периодических импульсных сигналов неопределенной структуры при существенно отрицательном отношении сигнал-шум (в частности, до  $-4,8$  дБ при скважности 40 и до  $-9,8$  дБ при скважности 160).

Диссертация основывается на современных достижениях отечественной и зарубежной техники РК, материалы работы свидетельствуют о ценности исследований автора для развития вопросов разработки аппаратуры РК. Поставленные автором взаимосвязанные частные задачи диссертационного исследования решены, а приведенная в диссертации совокупность результатов обеспечивает достижение цели исследования и свидетельствует о вкладе автора в науку.

Диссертация хорошо структурирована, написана четким, ясным языком. Содержащиеся в работе схемы, рисунки, таблицы достаточно наглядны. Автор корректно ссылается на результаты исследований других авторов и приводит в диссертации результаты сравнения с ними.

Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации, позволяет судить о цели, задачах диссертационного исследования и результатах их решения. Приведенные в автореферате иллюстрации способствуют достоверному и критическому анализу результатов диссертации.

Ниже представлены научные направления, по которым было бы целесообразно развивать исследования, представленные в диссертации.

1. Для сигналов Bluetooth целесообразно рассмотреть вероятностные характеристики пакетной ошибки (PER) с учётом применения помехоустойчивого кодирования, что позволит получить более полное представление об эффективности РК в реальных условиях.

2. В работе не рассмотрена многоканальная обработка периодических импульсных сигналов. Было бы целесообразно проанализировать и представить

результаты многоканальной обработки и для этого случая, что позволило бы более полно оценить возможности повышения помехоустойчивости процедур обнаружения, оценки параметров и идентификации периодических импульсных сигналов.

### **Замечания и недостатки диссертации.**

По содержанию диссертации можно высказать следующие *замечания и недостатки*.

1. В диссертации не приведено строгое математическое обоснование оптимальности предлагаемых алгоритмов и критериев оптимальности.

2. Отсутствуют обоснования применяемых в диссертации (формула (1.29)) весовых коэффициентов при корреляционной обработке сигналов. В частности, отсутствуют пояснения физического смысла производимого суммирования канальной энергии и всех попарных квадратов модулей взаимных энергий. Не ясно, почему в формуле (1.29) для весового коэффициента  $i$ -го канала используется канальная энергия, в числителе коэффициента  $j$ -го каналов – взаимная энергия.

3. В диссертации не представлены показатели эффективности (точностные характеристики) алгоритма частотной синхронизации для сигналов Bluetooth. Приведенная характеристика вероятности пакетной ошибки разнесенного приёма сигнала не позволяет в достаточной мере оценить эффективность алгоритма частотной синхронизации.

4. В диссертации отсутствует конкретный алгоритм пеленгования источников периодических импульсных сигналов и не рассмотрены вопросы эффективности такого пеленгования.

Изложенные замечания и недостатки не являются принципиальными, не снижают общего высокого научного уровня работы и её практической значимости.

### **Выводы.**

Диссертация Фаустова Ивана Сергеевича представляет собой законченное научное исследование, выполненное лично автором, содержащее достоверные, научно-обоснованные результаты и положения, обладающие научной новизной и практической ценностью. С учетом характера научных результатов, их научной и практической значимости, следует констатировать, что в диссертации разработан комплекс технических решений, внедрение которых представляет собой заметный вклад в развитие теории и практики радиоконтроля, в работу радиочастотных служб России.

Диссертация соответствует требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении 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.

Официальный оппонент,  
руководитель программ научно-технического  
управления научно-технического центра «РЭБ  
и спецсвязь» АО «Концерн «Созвездие»,  
доктор технических наук (научная  
специальность 6.2.12 (20.02.25) «Военная  
электроника, аппаратура комплексов военного  
назначения»)

Михаил Павлович Сличенко

« 19 » ноября 2025 г.

Акционерное общество «Концерн «Созвездие».  
Адрес: 394018, г. Воронеж, ул. Плехановская, 14.  
Телефон: 8-930-412-05-50  
Электронная почта: m.p.slichenko@sozvezdie.su

Против включения персональных данных, содержащихся в отзыве, в документы, связанные с защитой представленной диссертации, и их дальнейшей обработки не возражаю.

Подпись официального оппонента доктора технических наук, руководителя программ научно-технического управления научно-технического центра «РЭБ и спецсвязь» акционерного общества «Концерн «Созвездие» Сличенко Михаила Павловича **ЗАВЕРЯЮ:**

Заместитель директора  
по организационному развитию  
и управлению персоналом  
АО «Концерн «Созв

Никита Геннадиевич Ролдугин

« 19 » ноября 2025 г.