

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОЕННАЯ АКАДЕМИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ»**

Объект авторского права

УДК 621.396.96

**ЧИГИРЬ
Иван Викторович**

**ОБНАРУЖЕНИЕ И ОЦЕНИВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ
КОМБИНИРОВАННОЙ ИМИТИРУЮЩЕЙ И ПРОТЯЖЕННОЙ ПО
ДАЛЬНОСТИ КОРРЕЛИРОВАННОЙ МАСКИРУЮЩЕЙ ПОМЕХИ
ДЛЯ ПЕЛЕНГАЦИИ ЕЕ ПОСТАНОВЩИКА**

**Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.12.14 – радиолокация и радионавигация**

Минск, 2025

Научная работа выполнена в учреждении образования «Военная академия Республики Беларусь».

Научный руководитель – *Горшков Сергей Анатольевич*, кандидат технических наук, доцент, директор общества с ограниченной ответственностью «МилитСофт Солюшенс».

Официальные оппоненты: *Козлов Сергей Вячеславович*, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационных радиотехнологий учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»;

Реут Станислав Станиславович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник открытого акционерного общества «КБ Радар» – управляющая компания холдинга «Системы радиолокации».

Оппонирующая организация – Государственное учреждение «Научно-исследовательский институт Вооруженных Сил Республики Беларусь».

Защита состоится «29» января 2026 г. в 16.00 на заседании совета по защите диссертаций СД 04.01.01 при учреждении образования «Военная академия Республики Беларусь» (220057, г. Минск, пр. Независимости, 220, зал совещаний главного корпуса, телефон ученого секретаря 287-42-05, (+375297794536)).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Военная академия Республики Беларусь».

Автореферат разослан «22» декабря 2025 г.

**Ученый секретарь
совета по защите диссертаций
кандидат технических наук, доцент**



П. В. Бойкачев

ВВЕДЕНИЕ

Наиболее перспективным вариантом радиоэлектронного подавления (РЭП) импульсно-доплеровских радиолокационных станций (ИД РЛС) сопровождения целей является комбинированное воздействие имитирующей и маскирующей помехи – КИМ-помехи, которая представляет собой аддитивную смесь уводящей по дальности и (или) скорости помехи (УП) и протяженной по дальности коррелированной (узкополосной) ответной шумовой помехи (ОШП) [1]. Уводящая помеха идентична по своей структуре отраженному сигналу (ОС) и превосходит его мощность не менее чем на 3–5 дБ на импульс, отвлекая за собой следящие системы по дальности и (или) скорости. Протяженная по дальности коррелированная (узкополосная) ОШП представляет собой шумоподобное колебание в полосе от 7 до 20 кГц относительно частоты Доплера сопровождаемой воздушной цели (ВЦ) [1; 2]. Она излучается в ответ на каждый зондирующий импульс подавляемой РЛС, не превышая по времени период повторения, обеспечивая маскирование ОС на определенном интервале частот и времени запаздывания [1; 2; 12–15; 30–32]. Способы помехозащиты (ПХЗ), подробно описанные в [1], разрабатывались только для защиты, например, от УП или только от шумовых помех и не решают проблему защиты от КИМ-помех [1–2]. Таким образом, настоящая диссертационная работа посвящена развитию средств повышения эффективности функционирования моноимпульсных ИД РЛС сопровождения цели в условиях постановки с ее борта уводящих по дальности и скорости помех в комбинации с протяженной по дальности коррелированной ОШП.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с научными программами (проектами), темами

Тема диссертации включена в утвержденные планы научной работы учреждения образования «Военная академия Республики Беларусь» и соответствует Перечню перспективных направлений диссертационных исследований Вооруженных Сил Республики Беларусь в области анализа процессов обнаружения, распознавания (различения и классификации), разрешения сигналов (помех), измерения их параметров и разработки предложений по их оптимизации (п. 289). Содержание диссертационной работы соответствует Перечню приоритетных направлений научной, научно-технической и инновационной деятельности в Республике Беларусь на 2021–2025 гг. в области машиностроения, машиностроительных технологий, приборостроения и инновационных материалов (п. 4), обеспечения безопасности человека, общества и государства (п. 6).

Связь с крупными научными программами подтверждается внедрением результатов исследований в НИР «Качество-2015» № ГР 20151623; в НИР «Панда-3» инв. № 568703; в НИР «Горизонт-2020» инв. № 583261; в НИР «Комби-2020» инв. № 583816.

Цель, задачи, объект и предмет исследования

Цель исследования – решение задачи обнаружения и повышения точности пеленгации постановщика комбинированной имитирующей и маскирующей помехи самоприкрытия в моноимпульсных импульсно-доплеровских радиолокационных станциях сопровождения целей.

Объект исследования – обнаружитель и измерители дальности, скорости и угловых координат моноимпульсных импульсно-доплеровских радиолокационных станций сопровождения целей.

Предмет исследования – методы обнаружения и оценивания параметров сигналов, помех в моноимпульсных импульсно-доплеровских радиолокационных станциях сопровождения целей.

Задачи исследования:

1. Анализ тактических ситуаций, сигнальных и траекторных признаков постановки помех самоприкрытия моноимпульсным импульсно-доплеровским радиолокационным станциям сопровождения целей.

2. Статистический синтез устройств, входящих в систему защиты моноимпульсной ИД РЛС сопровождения от воздействия КИМ-помех самоприкрытия: обнаружителя-измерителя параметров протяженной по дальности коррелированной (узкополосной) ответной шумовой помехи, действующей совместно с уводящей помехой; дискриминатора угловых координат постановщика коррелированной (узкополосной) ответной шумовой помехи, действующей совместно с уводящей помехой.

3. Разработка методики анализа показателей качества устройств, входящих в систему защиты моноимпульсной ИД РЛС сопровождения целей от КИМ-помех самоприкрытия.

4. Проведение экспериментальных исследований для оценки степени адекватности математических моделей отраженного сигнала, помех, устройства обработки принятого сигнала и возможности практического использования синтезированных устройств.

Научная новизна

Научная новизна полученных результатов характеризуется:

развитием методов радиолокационного обнаружения и оценивания параметров протяженной по дальности коррелированной ответной шумовой помехи, действующей в составе комбинированной имитирующей и маскирующей помехи самоприкрытия на измерители импульсно-доплеровской РЛС сопровождения целей, заключающихся в режектировании уводящей помехи и адаптации обнаружителя к ее параметрам (времени запаздывания, длительности, средней частоте и ширине спектра), что *позволяет* обнаруживать и оценивать параметры такой помехи с высокими показателями качества;

развитием методов радиолокационной пеленгации постановщиков комбинированной имитирующей и маскирующей помехи самоприкрытия, заключающихся в весовом усреднении полученных на основе данных из устройства обнаружения и оценивания параметров комбинированной помехи,

рассогласований угловых координат, что *позволяет* повысить точность оценивания угловых координат постановщика таких помех.

Положения, выносимые на защиту

1. Методика синтеза устройства обнаружения и оценивания параметров протяженной по дальности ответной коррелированной (узкополосной) шумовой помехи, действующей совместно с уводящей помехой, на измерители моноимпульсной импульсно-доплеровской РЛС сопровождения, которая *учитывает* возможное распределение этих помех в матрице дальность-скорость и *позволяет* синтезировать обнаружитель коррелированной (узкополосной) шумовой помехи на выходе устройства междупериодной обработки принятого сигнала, отличающийся режестрированием сопровождаемого сигнала (уводящей помехи) и адаптацией ко времени запаздывания, длительности, средней частоте, ширине спектра ответной шумовой помехи, который *позволяет* при не менее чем 200 импульсах в интервале когерентного накопления, условной вероятности ложной тревоги не более 0,001, отношениях ответная шумовая помеха-шум более 0,07 на импульс обеспечить условную вероятность правильного обнаружения такой помехи не менее 0,8, а также *оценить* в матрице дальность-скорость ближнюю границу такой помехи по оси времен задержек и частоте, а также ее радиальную протяженность и ширину спектра с ошибками не превышающими 20 и 23 % относительно радиальной протяженности и ширины спектра ОШП соответственно.

2. Методика структурно-параметрического синтеза дискриминатора пеленгатора, которая *учитывает* распределение ответной коррелированной (узкополосной) шумовой помехи, действующей совместно с уводящей помехой в матрице дальность-скорость, и *позволяет* синтезировать многоканальный амплитудный пеленгатор с суммарно-разностной обработкой и перемножением для импульсно-доплеровской РЛС сопровождения целей, *отличающийся*: 1) корреляционной междупериодной обработкой принятого сигнала в каждом элементе разрешения по дальности и скорости суммарного и разностного каналов; 2) стробированием такой помехи на основе полученных в обнаружителе-измерителе ОШП оценок ее параметров; 3) весовым усреднением полученных в этих элементах разрешения по дальности и скорости рассогласований угловых координат с нормированием к суммарной мощности комбинированной имитирующей и маскирующей помехи самоприкрытия, *позволяющий* для предельных дальностей взятия цели на сопровождение не менее чем в 2,5 раза уменьшить флуктуационную ошибку оценивания угловых координат постановщика ответной узкополосной шумовой помехи, действующей совместно с уводящей помехой, по сравнению с режимом сопровождения только по уводящей помехе (без учета специализированных устройств защиты).

Личный вклад соискателя ученой степени

Все основные результаты диссертационных исследований получены соискателем лично, а именно: для моноимпульсной ИД РЛС сопровождения целей обоснован способ защиты от КИМ-помех самоприкрытия; решена задача

когерентной компенсации протяженных по дальности коррелированных ОШП; проведен синтез Байесовского алгоритма обнаружения и оценивания параметров протяженной по дальности коррелированной ОШП, действующей в составе КИМ-помехи на следящие измерители; синтезирован многоканальный дискриминатор УК постановщика КИМ-помехи самоприкрытия; проведены математическое моделирование и экспериментальные исследования разработанного алгоритма защиты.

Соавторами публикаций чаще всего являлись Н. К. Кузьмичев и научный руководитель кандидат технических наук, доцент С. А. Горшков. Научный руководитель определял цели, ставил задачи исследований, принимал участие в выборе методов исследований и обсуждении результатов. Совместно с Н. К. Кузьмичевым на базе разработанных моделей проведен анализ воздействия комбинированных помех на системы сопровождения по дальности (скорости), угловых координат, а также анализ эффективности способов защиты РЛС от воздействия различного рода помех. Совместно с П. И. Оргишем на базе гидроакустического комплекса проведено масштабное физическое полунатурное моделирование, подтверждена работоспособность синтезированных алгоритмов защиты и подтверждена высокая степень адекватности математических моделей КИМ-помехи и разработанных алгоритмов защиты от такого рода помех.

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов

Результаты исследований по теме диссертации были представлены на: VI, VII, VIII, IX международных научно-практических конференциях «Актуальные вопросы науки и техники в сфере развития авиации» авиационного факультета УО «ВА РБ» (г. Минск, 2016, 2017, 2018, 2019 гг.); международных научно-практических конференциях студентов, аспирантов и молодых ученых «XI, XII, XVI Машеровские чтения» учреждения образования (УО) «ВГУ им. П. М. Машерова (г. Витебск, 2017, 2018, 2022 гг.); VII международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы ведения разведки, радио-электронной борьбы и профессиональной подготовки специалистов» УО «ВА РБ» (г. Минск, 2017 г.); V международной научно-технической интернет-конференции «Информационные технологии в образовании, науке и производстве» УО «БНТУ» (г. Минск, 2017 г.); международных научных конференциях «Информационные технологии и системы» УО «БГУИР» (г. Минск, 2016, 2017, 2020, 2021 гг.); международных военно-научных конференциях «Проблемы обеспечения военной безопасности государства в современных условиях» УО «ВА РБ» (г. Минск, 2017, 2019 гг.); Республиканских научных конференциях студентов и аспирантов «Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях» УО «ГГУ им. Фр. Скоринь» (г. Гомель, 2017, 2019, 2020 гг.); 8-й и 9-й Международных научных конференциях по военно-техническим проблемам, проблемам обороны и безопасности, использованию техно-логий двойного применения (г. Минск, MilEx-2019, 2021); V международной научно-практической конферен-

ции «Актуальные проблемы и перспективы развития авиации» УО «БГАА» (г. Минск, 2020 г.); Республиканском форуме молодых ученых учреждений высшего образования (г. Гомель, 2025); Республиканском научно-практическом семинаре «Актуальные вопросы развития систем автоматизации, радиолокации и приема-передающих устройств» кафедры автоматизации, радиолокации и приема-передающих устройств УО «ВА РБ» (г. Минск, 2022 г.).

Использование результатов диссертации подтверждено актами о возможности их практического использования в производство и актами реализации в учебный процесс.

Опубликованность результатов диссертации

По результатам выполненных исследований опубликовано 38 научных работ общим объемом 9,5 авторских листов. Из них 11 статей объемом 7 авторских листов в научных изданиях, соответствующих п. 19 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий, 18 докладов в сборниках материалов конференций объемом 2 авторских листа, 9 тезисов докладов объемом 0,5 авторского листа.

Структура и объем диссертации

Работа состоит из введения, перечня сокращений и условных обозначений, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, списка использованных источников и 16 приложений. Список использованных источников включает библиографический список из 122 наименований и список публикаций соискателя ученой степени из 38 наименований на 14 страницах. Общий объем – 225 страниц, в том числе 49 рисунков на 45 страницах, 5 таблиц на 4 страницах, 16 приложений на 80 страницах.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В **первой главе** проведен анализ опыта противостояния средств воздушного нападения (СВН) и средств ПВО с учетом локальных войн и военных конфликтов последних десятилетий. Отмечено, что применение КИМ-помех самоприкрытия для подавления РЛС наведения оружия является перспективным вариантом подавления станций данного типа, так как увеличивает выигрыш по сравнению со случаем раздельного применения нескольких видов активных помех [1; 2; 15; 31]. В рамках главы разработана математическая модель КИМ-помехи:

$$h_{\text{ким}}(t, \mathbf{\alpha}_{\text{ким}}) = h_{\text{уп}}(t, \mathbf{\alpha}_{\text{уп}}) + h_{\text{ошп}}(t, \mathbf{\alpha}_{\text{ошп}}). \quad (1)$$

где $\mathbf{\alpha}_{\text{ким}} = \|\mathbf{\alpha}_{\text{уп}} \mathbf{\alpha}_{\text{ошп}}\|^T$ – вектор информативных параметров КИМ-помехи, который включает в себя векторы информативных параметров УП и ОШП; $h_{\text{уп}}(t, \mathbf{\alpha}_{\text{уп}})$ – УП по дальности и (или) скорости; $\mathbf{\alpha}_{\text{уп}} = \|t_{r_{\text{уп}}} F_{\text{Дуп}}\|^T$ – вектор информативных параметров УП; $t_{r_{\text{уп}}}(t)$ – время запаздывания УП; $F_{\text{Дуп}}(t)$ – частота Доплера УП; $h_{\text{ошп}}(t, \mathbf{\alpha}_{\text{ошп}})$ – протяженная по дальности коррелирован-

ная ОШП; $\mathbf{a}_{\text{ошп}} = \| t_{r\text{ошп}} \quad T_{0\text{ошп}} \quad F_{\text{Дошп}} \quad \Delta f_{\text{ошп}} \|^T$ – вектор информативных параметров протяженной по дальности коррелированной ОШП; $t_{r\text{ошп}}$ – время запаздывания ОШП; $T_{0\text{ошп}}$ – длительность шумового импульса ОШП; $F_{\text{Дошп}}$ – средняя частота ОШП; $\Delta f_{\text{ошп}}$ – ширина спектра ОШП.

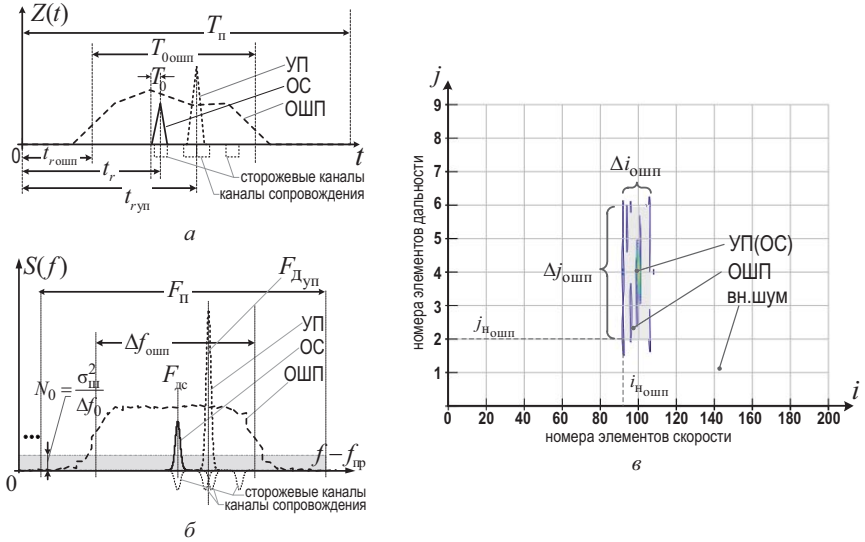
Особенностями модели имитирующей составляющей КИМ-помехи является выраженный через навязываемое ускорение $a_{\text{уп}}$ сдвиг по времени запаздывания $\Delta t_r(t)$ и частоте $F_{\text{Дуп}}(t)$, что облегчает работу с моделью.

Предложена математическая модель маскирующей составляющей КИМ-помехи, оценены ее КФ и ЭС, проведен анализ возможных значений ее параметров $\mathbf{a}_{\text{ошп}}$ [2; 13; 14] для предельных дальностей действия РЛС сопровождения [4; 16; 33]. Также рассмотрен способ постановки КИМ-помехи самоприкрытия, который повышает эффективность подавления ИД РЛС сопровождения по сравнению с отдельным применением УП и ОШП (рисунок 1) [17; 18]. При этом отмечено, что отсутствуют какие-либо известные способы защиты от комбинированного действия таких помех [1; 2; 12; 15; 34].

При воздействии КИМ-помехи самоприкрытия возникает необходимость своевременного обнаружения ОШП (селекции ОШП на фоне УП и (или) ОС) с оценкой ее параметров $\mathbf{a}_{\text{ошп}}$, селекции ОС на фоне УП и ОШП (подавление ОШП и УП, а затем обнаружение ОС на фоне остатков компенсации), в случае невозможности селекции ОС – пеленгации постановщика КИМ-помехи.

Во второй главе для моноимпульсных импульсно-доплеровских РЛС сопровождения целей решены задачи обнаружения [6; 7; 20–24; 35; 36] и пеленгации постановщика КИМ-помехи самоприкрытия [9; 10; 27; 28; 38]. В рамках решения данных задач были разработаны *методика синтеза алгоритма обнаружения и оценивания параметров протяженной по дальности коррелированной ОШП, действующей в составе КИМ-помехи, и методика структурно-параметрического синтеза дискриминатора УК моноимпульсной ИД РЛС сопровождения по постановщику КИМ-помехи самоприкрытия*. Решение задач обнаружения-измерения параметров КИМ-помехи и пеленгация ее постановщика позволяют реализовывать алгоритм защиты РЛС от воздействия данного вида помех.

При решении задачи обнаружения и оценивания параметров ОШП используется штатное устройство обработки принятого сигнала РЛС. Число каналов скорости (по частоте Доплера) такого устройства рассчитывается согласно $I = L_{\text{кн}} = T_{\text{н}} / T_{\text{п}}$, число каналов дальности (времени запаздывания) – $J = T_{\text{п}} / \Delta t$. Элементы разрешения по времени запаздывания Δt_r и частоте Доплера ΔF штатного устройства обработки соответственно меньше длительности $T_{0\text{ошп}}$ и ширины его спектра $\Delta f_{\text{ошп}}$. На выходе такого устройства КИМ-помеха представляет собой распределенный по элементам разрешения дальности и скорости объект, границы которого определяются параметрами ее маскирующей составляющей (см. рисунок 1).



а – воздействие на измерители дальности; б – воздействие на измерители скорости; в – вид КИМ-помехи в матрице $D-V$

Рисунок 1 – Результат обработки принятого сигнала в измерителях РЛС

Параметры ОШП выбираются такими [2; 17], чтобы на протяжении всего времени ее действия формируемый строб «накрывал» ОШП, ОС и УП (см. рисунок 1). Априорно неизвестные параметры ОШП выражаются через номер и число элементов разрешения по дальности (скорости) [7; 22; 23]:

$$t_{r\text{ошп}} = j_{\text{ошпн}} \Delta t. \quad (2)$$

$$T_{0\text{ошп}} = \Delta j_{\text{ошп}} \Delta t. \quad (3)$$

$$\Delta f_{\text{ошп}} = \Delta i_{\text{ошп}} \Delta F_{\Pi}. \quad (4)$$

$$\mathbf{a}_{\text{ошп}} = \begin{bmatrix} i_{\text{ошпн}} & \Delta i_{\text{ошп}} & j_{\text{ошпн}} & \Delta j_{\text{ошп}} \end{bmatrix}^T. \quad (5)$$

Методика синтеза алгоритма обнаружения и оценивания параметров протяженной по дальности коррелированной ОШП, действующей в составе КИМ-помехи самоприкрытия, включает ряд этапов:

1 этап. Когерентная компенсация сопровождаемого сигнала (ККС) в соответствующем канале дальности (номер элемента дальности определяется согласно $j_{\text{сс}} = (t_{r\text{уп}} + T_0) / \Delta t$) включением режекторного фильтра (РФ) ККС [6; 7].

2 этап. Формирование матрицы $D-V$ с учетом ККС $|S_{ij}^k(t)|^2$. Число каналов скорости I и число каналов дальности J устройства обработки принятого сигнала с учетом ККС соответствуют числу каналов дальности и скорости штатного приемника обзора ИД РЛС сопровождения. На выходе

такого устройства формируется матрица $D-V$ с учетом ККСС. Одновременное поступление сигналов в устройства формирования достаточных статистик устройства обнаружения и оценивания параметров ОШП в каналах дальности без режекции обеспечивается задержкой на τ_3 сигналов, которое определяется глубиной зоны режекции РФ ККСС [7].

3 этап. Формирование на основе матрицы $D-V$ с учетом ККСС для каждого m -го канала обнаружения, настроенного на обнаружение ОШП с параметром $\mathbf{a}_{\text{ошп}m} = \|i_{\text{н}m} \quad \Delta i_m \quad j_{\text{н}m} \quad \Delta j_m\|^T$, достаточной статистики $Z(\mathbf{f} | \mathbf{a}_{\text{ошп}m})$ согласно выражению

$$Z(\mathbf{f} | i_{\text{н}}, j_{\text{н}}, \Delta i, \Delta j) = s_{i_{\text{н}}, j_{\text{н}}}(\Delta i, \Delta j) - \Delta i \Delta j (1 + \ln[s_{i_{\text{н}}, j_{\text{н}}}(\Delta i, \Delta j) / \Delta i \Delta j]), \quad (6)$$

$$\text{где } s_{i_{\text{н}}, j_{\text{н}}}(\Delta i, \Delta j) = \frac{1}{2\sigma_0^2} \sum_{n=i_{\text{н}}}^{(i_{\text{н}}+\Delta i-1)} \sum_{k=j_{\text{н}}}^{(j_{\text{н}}+\Delta j-1)} Z_{n,k} \quad - \quad (7)$$

нормированный к мощности шума результат некогерентного накопления (НН) в окне протяженностью Δi по частоте и Δj по времени запаздывания;

$\overline{\sigma_0^2}$ – средняя мощность шума на выходе когерентной части устройства обработки сигнала, оцениваемая по результатам наблюдения выборки.

4 этап. Формирование порога обнаружения Z_{*m} для каждого m -го канала обнаружения ОШП. Порог рассчитывается согласно выражению

$$Z_{*m} = \text{root} \left(F - \int_{Z_*}^{\infty} (p_0(h_{1m}(Z)) \left| \frac{\partial h_{1m}(Z)}{\partial Z} \right| + p_0(h_{2m}(Z)) \left| \frac{\partial h_{2m}(Z)}{\partial Z} \right|) dZ, Z_* \right). \quad (8)$$

5 этап. Формирование частного решения об обнаружении ОШП $A_{\text{ошп}1,0m}^*$ в каждом m -ом канале обнаружения путем сравнения соответствующей достаточной статистики со своим порогом обнаружения:

$$\text{если } Z(\mathbf{f} | \mathbf{a}_{\text{ошп}m}) \geq Z_*(\mathbf{a}_{\text{ошп}m}), \text{ то } A_{\text{ошп}1}^*, \text{ иначе } A_{\text{ошп}0}^*. \quad (9)$$

6 этап. Формирование результирующего решения об обнаружении ОШП согласно правилу:

$$\text{если } \sum_{m=0}^{M-1} A_{\text{ошп}1m}^* \geq 1, \text{ то } A_{\text{ошп}1}^*, \text{ иначе } A_{\text{ошп}0}^*. \quad (10)$$

7 этап. Формирование оценки параметров протяженной по дальности коррелированной ОШП согласно выражению

$$\hat{\mathbf{a}}_{\text{ошп}} = \arg \max_{\mathbf{a}_{\text{ошп}m}} [Z(\mathbf{f} | \mathbf{a}_{\text{ошп}m}, A_{\text{ошп}m}^* = 1)]. \quad (11)$$

В соответствии с синтезированным алгоритмом структура устройства обнаружения и оценивания параметров ОШП представляет собой M -канальное устройство (рисунок 2) [6; 7; 21; 35].

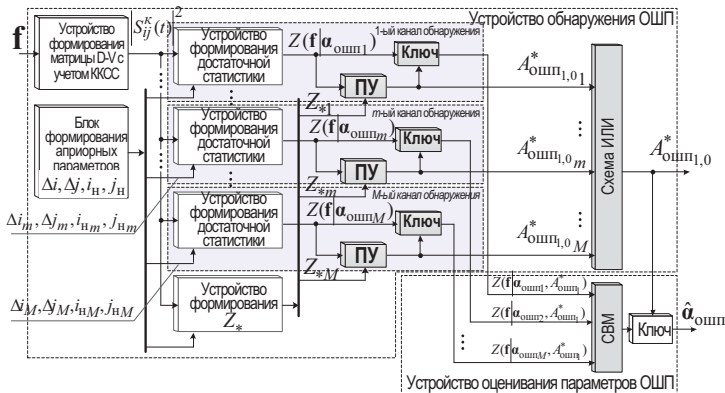


Рисунок 2 – Структурная схема устройства обнаружения и оценивания параметров ОШП, действующей в составе КИМ-помехи

Схема включает в себя устройство обнаружения ОШП и устройство оценивания его параметров. Их работу обеспечивают: устройство формирования матрицы $D-V$ с учетом ККСС, устройства формирования достаточной статистики и блок формирования априорных параметров $i_H, j_H, \Delta i, \Delta j$ [7; 20; 21]. Число каналов обработки M соответствует числу вариантов сочетания параметров ОШП по времени и частоте [6].

При разработке методики структурно-параметрического синтеза дискриминатора УК моноимпульсной ИД РЛС сопровождения по ВЦ-постановщику КИМ-помехи самоприкрытия за основу взята структура квазиоптимального дискриминатора УК при методе амплитудного мгновенного сравнения (АМС) с суммарно-разностной обработкой и перемножением [9], включающая ряд этапов [10; 28; 38].

1 этап. Расчет параметров устройства корреляционной обработки и количества каналов для многоканальной обработки принятого сигнала в разностном канале.

В ИД РЛС при сопровождении цели, как правило, используется квазинепрерывная последовательность простых прямоугольных радиопульсов с длительностью одиночного импульса T_0 , периодом повторения T_H , сигнал слабый и медленно флуктуирующий сигнал. Разрешающая способность по времени запаздывания Δt_r определяется длительностью одиночного импульса $\Delta t_r = T_0$, а по частоте Доплера ΔF шириной УПФ $\Delta F = \Delta F_H$ и определяется числом импульсов ОС L и периодом повторения T_H согласно $\Delta F_H = 1/T_H$. В разностном и суммарном каналах обработки число каналов скорости (частоты Доплера) – I и каналов дальности (времени запаздывания) – J должно быть одинаковым.

2 этап. Обнаружение КИМ-помехи и оценка вектора параметров $\hat{a}_{КИМ}$.

Обнаружение факта действия КИМ-помехи сводится к обнаружению ее маскирующей составляющей помимо сопровождаемого сигнала [6; 7], т. е. к обнаружению на фоне сопровождаемого объекта – УП (ОС) протяженной по дальности коррелированной ОШП и оценке вектора ее параметров – $\hat{\mathbf{a}}_{\text{ошп}}$.

Структура устройства (см. рисунок 2) определяется способом обработки принятого сигнала и состоит из последовательно включенных устройств ВПО, ККМО, ККСС и когерентного накопления отраженного сигнала (КНОС) с одно-временным обзором по дальности и радиальной скорости. Для принятия решения об обнаружении задается уровень ложной тревоги и рассчитывается порог обнаружения в соответствии с критерием Неймана – Пирсона. По результатам работы устройства обнаружения и оценивания параметров ОШП выдаются: решение о наличии/отсутствии ОШП $A_{\text{ошп},0}^*$ и оценка вектора ее параметров $\hat{\mathbf{a}}_{\text{ошп}}$.

3 этап. Стробирование принятого сигнала по измеренным время-частотным параметрам $\hat{\mathbf{a}}_{\text{ошп}}$ на выходах суммарного и разностных каналов обнаруженной области маскирующей составляющей КИМ-помехи.

В суммарном и разностном каналах обработки из всех элементов разрешения по дальности и скорости с использованием выражений (2)–(4) выделяются номера j -ых элементов разрешения по дальности и i -ых элементов разрешения по скорости, относящихся к маскирующей составляющей КИМ-помехи – $S_{\Sigma ij}(t, \Delta\theta_{\text{ц}})$ и $S_{\Delta ij}(t, \Delta\theta_{\text{ц}})$.

4 этап. Оценка невязки УК в выделенных элементах разрешения дальности и скорости. Для расчета невязки по каждому из выделенных элементов все пары значений комплексных амплитуд принятого сигнала из суммарного $S_{\Sigma ij}(t, \Delta\theta_{\text{ц}})$ и разностного $S_{\Delta ij}(t, \Delta\theta_{\text{ц}})$ каналов обработки поступают на соответствующие им фазовые детекторы (ФД), где выделяются реальные части от их произведений $\text{Re}[S_{\Sigma ij}(t, \Delta\theta_{\text{ц}})S_{\Delta ij}^*(t, \Delta\theta_{\text{ц}})]$ [10; 38].

5 этап. Весовое усреднение полученных рассогласований.

Для уменьшения ошибки оценивания результирующее рассогласование $D_{\text{ким}}$ формируется путем взвешенного усреднения (веса пропорциональны квадратам модулей комплексных амплитуд соответствующих элементов разрешения по дальности и скорости суммарного канала обработки) угловых рассогласований в соответствии с выражением [9; 10; 28; 38]

$$D_{\text{рез}}(t, \Delta\theta_{\text{ц}}) = \frac{\sum_{i=i_n}^{i_n+\Delta i-1} \sum_{j=j_n}^{j_n+\Delta j-1} \tilde{\eta}_{ij} \text{Re}[S_{\Sigma ij}(t, \Delta\theta_{\text{ц}})S_{\Delta ij}^*(t, \Delta\theta_{\text{ц}})]}{\left| S_{\Sigma ij}(t, \Delta\theta_{\text{ц}}) \right|^2}. \quad (12)$$

В качестве веса $\tilde{\eta}_{i,j}$ следует использовать нормированную интенсивность полезного сигнала, полученного в суммарном канале с учетом квадратичного детектирования $\tilde{\eta}_{ij} = \left| S_{\Sigma ij}(t, \Delta\theta_{\text{ц}}) \right|^2 / \sum_{i=i_n}^{i_n+\Delta i-1} \sum_{j=j_n}^{j_n+\Delta j-1} \left| S_{\Sigma ij}(t, \Delta\theta_{\text{ц}}) \right|^2$.

Структурная схема следящего пеленгатора постановщика КИМ-помех самоприкрытия, реализующая алгоритм (12), показана на рисунке 3.

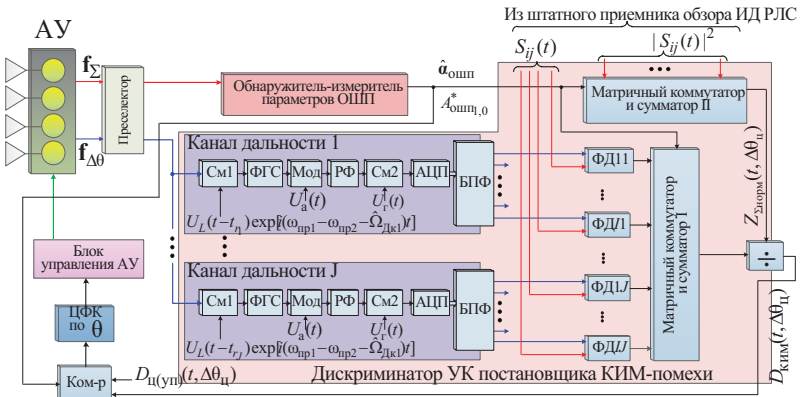


Рисунок 3 – Структурная схема следящего пеленгатора постановщика КИМ-помех самоприкрытия

Схема состоит из штатного приемника обзора с дополнительными выходами до $S_{\Sigma ij}(t, \Delta\theta_{ц})$ и после детектора $|S_{\Sigma ij}(t, \Delta\theta_{ц})|^2$, обнаружителя-измерителя параметров ОШП (см. рисунок 2) и многоканального по дальности и скорости дискриминатора УК постановщика КИМ-помехи, в соответствии с (12).

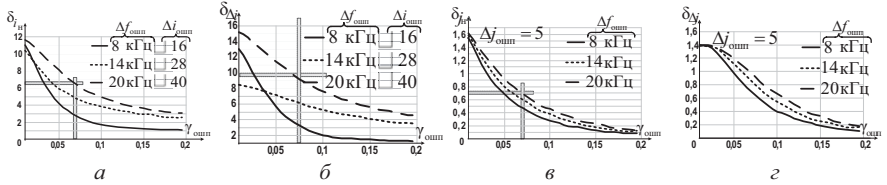
В третьей главе представлены результаты математического моделирования для анализа показателей качества устройств, входящих в систему защиты моноимпульсной ИД РЛС сопровождения от воздействия КИМ-помехи самоприкрытия. Параметры РЛС выбраны характерными для моноимпульсных ИД РЛС сопровождения ЗРК (ЗРС) средней и большой дальности. Параметры цели выбраны характерными для носителей станции активных помех (САП), предназначенных для преодоления системы ПВО.

Принятый сигнал представлял собой аддитивную смесь ОС, внутренних шумов и КИМ-помехи. Параметры РЛС задавались следующими: несущая частота РЛС $f_0=10$ ГГц, длительность импульса $T_0=1$ мкс, период повторения импульсов $T_{п}=10$ мкс, время наблюдения $T_{н}=2$ мс, линейка узкополосных фильтров (УПФ) перекрывала однозначный диапазон Доплеровских частот от 0 до 100 кГц при полосе одного фильтра примерно 500 Гц.

Параметры КИМ-помехи: имитирующая составляющая – величина навязываемого ускорения – $a_{уп} = 20$ м/с²; отношение УП-Ш на один импульс $\gamma_{уп}$ не менее чем на 3 дБ превосходило γ_c ; отношение мощности ОШП к мощности внутренних шумов $\gamma_{ошп}$ задавалось на выходе устройства ВПО и изменялось в диапазоне от 0 до 0,2 с шагом 0,005. Время запаздывания шумового импульса внутри интервала однозначности $t_{r_{ошп}} = 2$ мкс; длительность шумового импульса $T_{0_{ошп}} = 5$ мкс; форма огибающей шумового импульса – прямоугольная. Модели-

рование проводилось для трех значений ширины спектра ОШП $\Delta f_{\text{ОШП}}$ – 8, 14 и 20 кГц (соответствуют граничным значениям возможного диапазона значений для выбранных параметров РЛС). Вероятность ложной тревоги задавалась $F = 0,001$. Параметры УП для обеспечения работы устройства компенсации сигнала сопровождаемого объекта считались известными.

Показатели качества устройства обнаружения и измерения параметров ОШП оценивались по матрице $D-V$, сформированной из выходных сигналов 200 взаимно расстроенных УПФ с учетом квадратичного детектирования (КД) и ККСС, принимаемых в 10 внутрипериодных каналах дальности (см. рисунок 1, в). Зависимости среднеквадратической ошибки оценивания параметров ОШП, выраженных в номере (числе) соответствующих элементов разрешения, от отношения ОШП-Ш $\gamma_{\text{ОШП}}$ представлены на рисунке 4.



a – начального положения по оси частот; *б* – протяженности по оси частот; *в* – начального положения по оси времени; *з* – радиальной протяженности

Рисунок 4 – Зависимость ошибки оценивания параметров ОШП от $\gamma_{\text{ОШП}}$

На величину ошибки оказывают влияние мощность ОШП, ее корреляционные свойства и значения вектора параметров $\mathbf{a}_{\text{ОШП}}$. Ошибка оценивания начального положения по дальности и скорости в матрице $D-V$ не превышает 20 %, а ошибка оценивания радиальной протяженности и ширины спектра – 23 % относительно радиальной протяженности и ширины спектра ОШП соответственно [7].

Характеристики обнаружения при известных параметрах ОШП (сплошные линии) и с оценкой параметров (линии с маркерами) рассмотренного алгоритма (10) представлены на рисунке 5.

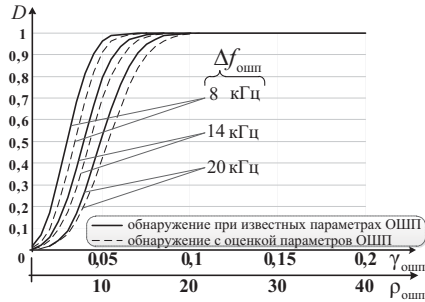


Рисунок 5 – Характеристики обнаружения ОШП

Из рисунка следует, что для заданной вероятности ложной тревоги при низких отношениях $\gamma_{\text{ОШП}} (\leq 0,5)$ ОШП неэффективна, так как ОС не маскируется. Например, для обеспечения требуемого маскирующего эффекта $\gamma_{\text{ОШП}} \approx \gamma_{\text{ц}} L \Delta f_{\text{ОШП}} F_{\text{п}}^{-1}$ при $\Delta f_{\text{ОШП}} = 20$ кГц необходимо обеспечить большее $\gamma_{\text{ОШП}}$ по сравнению с $\Delta f_{\text{ОШП}} = 8$ кГц. Чем больше $\Delta f_{\text{ОШП}}$, тем больше ошибки оценивания, при этом смещение оценок параметров происходит к энергетическому центру ОШП (при малых $\gamma_{\text{ОШП}}$ оценки начального положения ОШП смещаются в сторону больших значений параметра, а протяженности – в сторону меньших).

Анализ показателей качества измерения УК проведен в сравнении со штатным устройством измерения УК для ситуаций, когда в качестве источника пеленговой информации выступают: в первом случае – УП; во втором случае – ОС, обнаруженный на фоне остатков компенсации ОШП [4]; в третьем – КИМ-помеха при равновесном суммировании; в четвертом – КИМ-помеха при взвешенном суммировании согласно алгоритму (12).

Произведен расчет среднеквадратического отклонения (СКО) ошибки измерения УК постановщика помех. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчета СКО измерения УК постановщика помех

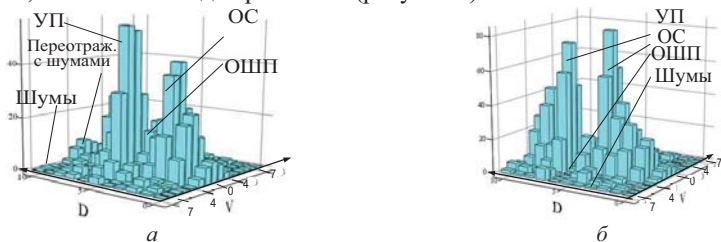
Ширина спектра ОШП \ Источник пеленговой информации	УП	ОС после компенсации и ОШП	Равновесное суммирование элементов КИМ-помехи	Взвешенное суммирование элементов КИМ-помехи
8 кГц	0,074	0,133	0,1	0,027
14 кГц	0,072	0,12	0,132	0,027
20 кГц	0,071	0,116	0,126	0,027

Взвешенное суммирование в строке $\hat{\alpha}_{\text{ОШП}}$ невязок УК от элементов разрешения по дальности и скорости, относящихся к КИМ-помехе, обеспечивает повышение точности пеленгации более чем в 2,5 раза. Этот выигрыш зависит от энергетических соотношений между УП, ОС и ОШП на фоне шума и не зависит от параметров ОШП $\alpha_{\text{ОШП}}$. Таким образом, проведенные исследования подтверждают положения, выносимые на защиту.

В четвертой главе диссертации на основе масштабного физического гидроакустического моделирования исследовалась ситуация противоборства РЛС сопровождения и цели со станцией постановки КИМ-помех. В модели задавались параметры зондирующего сигнала РЛС, параметры УП, а также ОШП, накрывающей ОС и УП. С помощью ПЭВМ, используя нереальный масштаб времени, был реализован механизм отладки алгоритмов обработки сигналов и борьбы с КИМ-помехой [11].

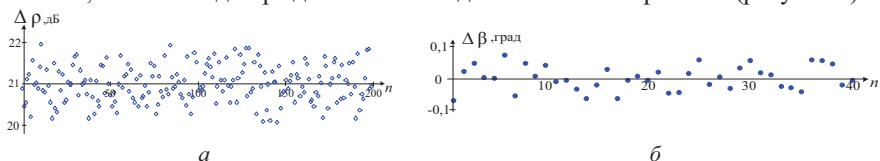
Особенностями физического гидроакустического моделирования являлись предварительный и исполнительный этапы моделирования тактической ситуации. В ходе предварительного этапа: измерена фактическая скорость звука в воде, которая составила 1294 м/с; зарегистрированы реальные мешающие отражения, которые были распределены на трассе распространения гидроакустического сигнала; определено время корреляции ОС, составившее 0,11 с. На исполнитель-

ном этапе моделировалась необходимая тактическая ситуация. Были подтверждены теоретические закономерности изменения отношений мощностей С-Ш, ОШП-Ш, УП-Ш на выходе приемника (рисунок 6).



а – ОС+КИМ-помеха+шум без компенсации; *б* – ОС+КИМ-помеха+шум с компенсацией
Рисунок 6 – Результат обработки принятого сигнала

На выходе устройств цифровой обработки, входящих в систему защиты ИД РЛС сопровождения целей от воздействия КИМ-помех, были получены отношения С-Ш, ОШП-Ш, УП-Ш, обеспечивающие хорошую наблюдаемость сигнала, помех и подтверждение всех ожидаемых закономерностей (рисунок 7).



а – часть выборки оценок ОСШ; *б* – часть выборки сигнала ошибки дискриминатора
Рисунок 7 – Значения сигнала ошибки и истинных значений в экспериментах

Относительная погрешность оценок ОСШ составила $\leq 8\%$ (рисунок 7, *а*). При оценке пеленга постановщика КИМ-помех с помощью разработанного дискриминатора УК (рисунок 7, *б*) относительная погрешность оценок УК составила $\leq 10\%$. Доверительная вероятность во всех перечисленных случаях составляла не менее 0,05.

Таким образом, полученные результаты говорят об высокой степени адекватности использованных математических моделей ЗС, ОС, ОШП и УП [2], синтезированных в работах [4–10] обнаружителя ОШП, устройства ее компенсации и пеленгатора цели-постановщика КИМ-помехи [11].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Проведен анализ опыта противостояния СВН и средств ПВО с учетом локальных войн и военных конфликтов последних десятилетий и отмечено, что главной тенденцией применения современных СВН является увеличение доли средств, оборудованных индивидуальными средствами защиты [1–3; 12; 30]. К индивидуальным средствам защиты относятся устройства предупреждения о ракетном нападении (об облучении), автоматы отстрела ложных целей, САП, которые на современном ЛА объединяются в состав комплекса РЭБ [1–3].

Основа эффективности современного РЭП РЛС – это скрытное применение помех, которое, как правило, достигается применением имитирующих помех на этапе наведения оружия. При этом перспективным вариантом подавления РЛС наведения оружия является использование КИМ-помех [1–3; 12–15; 17]. Показано, что комбинация двух видов активных помех повышает эффективность подавления моноимпульсных ИД РЛС сопровождения, блокируя включение известных способов защиты за счет маскирования отраженного от цели сигнала [2; 17; 18; 32; 34].

Разработана математическая модель КИМ-помехи [2; 12–14; 31] и с помощью данной модели исследован способ постановки КИМ-помехи самоприкрытия. Она позволила выявить, что коррелированность маскирующей составляющей помехи повышает ее эффективность. Отмечено, что ограничение ширины спектра до 8–20 кГц маскирующей составляющей комбинированной помехи, позволяет использовать передающее устройство ПАП меньшей мощности практически во всем диапазоне дальностей. Например, для маскирования помехоносителя с ЭОП 1 м^2 требуется мощность передатчика ОШП от милливатта (на дальности 100 км) до десяти ватт (на дальности в полтора-два километра). Дальнейшее сужение спектра ОШП нецелесообразно, так как цель за время увода выходит из области маскирования по скорости и начинают включаться известные средства защиты от уводящих помех. Расширение спектра маскирующей составляющей комбинированной помехи требует установки более мощных РПУ на ПАП для достижения аналогичного маскирующего эффекта, особенно на малых дистанциях (до нескольких киловатт).

В цикле, следующем после увода следящих систем по дальности и скорости (срыва слежения), при переходе РЛС в режим допосиска (например, со средней частотой повторения) и повторного захвата цели на сопровождение, более эффективна МДС ИП.

2. Разработан алгоритм работы системы защиты моноимпульсной ИД РЛС сопровождения целей от воздействия КИМ-помехи самоприкрытия [5; 19]. Алгоритм защиты предполагает: обнаружение факта воздействия КИМ-помехи за счет выявления протяженной по дальности коррелированной (узкополосной) ОШП помимо сопровождаемого сигнала, совместно с оценкой параметров такой помехи; после обнаружения ОШП, включается либо устройство компенсации за счет вычитания с задержкой на T_0 , либо (при неэффективной работе компенсатора) пеленгатор постановщика КИМ-помехи самоприкрытия с адаптацией к параметрам такой помехи.

Работу системы защиты моноимпульсной ИД РЛС сопровождения целей от воздействия КИМ-помехи обеспечивают: устройство обнаружения-измерения параметров протяженной по дальности коррелированной (узкополосной) ОШП, алгоритм работы которого определяется выражениями (10) и (11), а структура устройства представлена рисунком 2 [6; 7; 24; 28]; модифицированный обнаружитель ОС цели с компенсатором ОШП за счет вычитания с задержкой на T_0 , алгоритм работы и структура устройства представлены в [8; 25; 26; 37];

многоканальный дискриминатор пеленгатора КИМ-помехи с весовой обработкой и нормированием сигнала ошибки, алгоритм работы которого определяется (12), а структура представлена на рисунке 3 [9; 10; 28; 38]. Для обеспечения работы предложенного алгоритма вскрытия ОШП разработана методика синтеза и синтезирована структура устройства совместного обнаружения-оценивания параметров протяженной по дальности коррелированной (узкополосной) ОШП, действующей в составе КИМ-помехи самоприкрытия [6; 27; 35]. Такое устройство позволяет: обосновать перенос обнаружителя воздействия помехи и включения средств защиты с этапа ВПО на этап когерентного и некогерентного накопления штатного устройства обработки принятого сигнала ИД РЛС сопровождения; обеспечить высокие показатели качества обнаружения такой помехи (рисунок 5) [7], а так же техническую и экономическую выгоду от внедрения.

Разработана методика структурно-параметрического синтеза дискриминатора с суммарно-разностной обработкой и перемножением многоканального пеленгатора КИМ-помехи с весовой обработкой и нормированием (УП+МП либо МДС ИП+МП). Дискриминатору, функционирующему в соответствии с алгоритмом (12), соответствует минимальная флуктуационная ошибка измерения при фиксированной полосе пропускания цепей фильтрации и коррекции за счет весового суммирования с весами, соответствующими интенсивностям составляющих КИМ-помехи в каналах (см. таблицу 1) [10].

Алгоритм пеленгации (12), с небольшими изменениями, может быть использован и после обнаружения факта перехода ПАП в режим постановки МДС ИП. Такое изменение режима работы ПАП может быть инициировано в двух случаях: 1) после идентификации ПАП перехода РЛС из режима слежения с высокой частотой повторения в режим поиска или допоиска цели на средней частоте повторения; 2) при переходе ПАП в режим постановки МДС ИП по умолчанию (то есть, не как реакция на обнаружение перехода РЛС в режим поиска или допоиска). В этих случаях ширина спектра ОШП должна быть в пределах используемой частоты повторения РЛС, а протяженность строба помехи по дальности – в пределах периода повторения. Изменяются так же и показатели качества пеленгации.

3. В рамках данной диссертации разработан гидроакустический комплекс моделирования, который позволил физически моделировать работу активной РЛС сопровождения, сопровождаемую цель, а также постановку с ее борта имитирующих и маскирующих помех. В комплексе программно изменяются (задаются) условия работы как РЛС сопровождения, так и цели-постановщика КИМ-помехи. Приемное устройство комплекса со встроенным аналого-цифровым преобразованием на несущей частоте записывает в память ПЭВМ принятые сигналы. На последующих этапах, в масштабе времени, отличном от реального, в ПЭВМ: 1) производится модельный подыгрыш второго разностного и суммарного азимутальных каналов обработки РЛС; 2) исследуется работа алгоритмов: обнаружения-измерения параметров ОШП; компенсации ОШП и обнаружения цели; многоканальный дискриминатор пеленгатора КИМ-помехи

с весовой обработкой и нормированием; 3) верифицируются плотности распределения параметров ОС; 4) оцениваются закономерности изменения ОСШ, ОШП-Ш, отношения УП-Ш; 5) верифицируются относительные погрешности статистических параметров (математического ожидания и дисперсии) оценочных значений ОСШ, ОШП-Ш на выходе УО математической модели по отношению к полунатурному эксперименту; 6) оценивается выигрыш в точности пеленгации по КИМ-помехе, сравнении с пеленгацией по УП (составил 1,15 раза) и в сравнении с пеленгацией по ОС (составил 1,3 раза) [11].

Разница в особенностях распространения и поляризационной структуры гидроакустических- и радиоволн, никак не повлияла на полученные результаты, так как соблюдались необходимые эффекты масштабирования (размеров цели, длины волны, расстояния до цели и ЭОП цели в реальной среде для радиоволн и в воде для ультразвуковых колебаний). Отсутствие эффекта поляризации в гидроакустической среде также не повлияло на результаты физического моделирования.

Особенностями физического гидроакустического моделирования являлись предварительный и исполнительный этапы моделирования тактической ситуации. В ходе предварительного этапа: измерена фактическая скорость звука в воде (составила 1294 м/с); зарегистрированы реальные МО, которые были распределены на трассе распространения гидроакустического сигнала; определено время корреляции ОС, составившее 0,11 с. На исполнительном этапе моделировалась заданная тактическая ситуация.

Полученные результаты подтвердили работоспособность синтезированного обнаружителя-измерителя параметров дальности коррелированной (узкополосной) ОШП, действующей совместно с уведящей помехой в составе КИМ-помехи самоприкрытия, устройства компенсации ее маскирующей составляющей и дискриминатора УК цели-постановщика КИМ-помехи самоприкрытия [11].

Рекомендации по практическому использованию результатов

Результаты диссертационной работы могут быть использованы при проектировании систем защиты от помех современных и перспективных моноимпульсных ИД РЛС сопровождения целей, а также в учебном процессе кафедры автоматизи, радиолокации и приемо-передающих устройств УО «Военная академия Республики Беларусь», что подтверждается актом о практическом использовании и актами о возможном практическом использовании результатов диссертационного исследования, выданными соответствующими организациями, а так же актами реализации результатов научных исследований в учебном процессе.

Разработанные в рамках диссертационной работы пакеты прикладных программ, а также созданный комплекс математического моделирования и экспериментальных исследований могут быть полезны разработчикам радиотехнических систем, работающим в области защиты от помех.

Для противодействия постановщикам КИМ-помех самоприкрытия в современных моноимпульсных ИД РЛС сопровождения с корреляционной обработкой ОС следует на этапе проектирования или модернизации закладывать

возможность работы алгоритмов обнаружения-оценивания параметров протяженной по дальности коррелированной (узкополосной) ОШП для обеспечения функционирования алгоритма защиты от комбинированной помехи в автоматическом режиме.

При противодействии постановщикам КИМ-помех самоприкрытия (либо УП+МП, либо МДС ИП+МП) следует подготавливать ракету с бортовым радиопеленгатором, где априорной информацией для стрельбы будет являться грубая информация о дальности до цели. В моноимпульсной ИД РЛС наведения оружия при обнаружении действия КИМ-помехи работа пеленгатора будет осуществляться по алгоритму (12). После пуска управляемой ракеты пеленгатор ГСН обеспечит обнаружение и измерение УК постановщика помех также по алгоритму (12), а затем выдачу этих оценок на ИД РЛС. По оценкам пеленга на постановщик помех, полученным на ИД РЛС и ГСН управляемой ракеты методами триангуляции будет определена более точная оценка дальности до постановщика помех. Эта информация используется для обеспечения оптимальной траектории полета управляемой ракеты к цели. Работа пеленгаторов ГСН и ИД РЛС по алгоритму (12) будет обеспечиваться при отношениях ОШП–шум более 0,07 на импульс.

Соискатель



И. В. Чигирь

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

Статьи в научных изданиях, соответствующих требованиям п. 19 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий

1. Чигирь, И. В. Анализ возможностей самолетных комплексов радиоэлектронной борьбы по постановке уводящих помех и способов защиты радиолокационных станций сопровождения / И. В. Чигирь, С. А. Горшков, Н. К. Кузьмичев // Сб. науч. ст. ВА РБ. – 2017. – № 32. – С. 163–170.

2. Чигирь, И. В. Анализ воздействия комбинированной имитирующей и маскирующей помехи на системы сопровождения по дальности и скорости радиолокаторов точного измерения координат / И. В. Чигирь, С. А. Горшков, Н. К. Кузьмичев // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2018. – № 1 (58). – С. 71–81.

3. Кузьмичев, Н. К. Анализ известных способов защиты моноимпульсных пеленгаторов от воздействия кросс-поляризационных помех / Н. К. Кузьмичев, И. В. Чигирь, С. А. Горшков // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2018. – № 1 (58). – С. 44–51.

4. Чигирь, И. В. Уточненная методика расчета дальности действия РЛС квазинепрерывного (непрерывного) излучения / И. В. Чигирь, С. А. Горшков, Н. К. Кузьмичев // Наука и воен. безоп. – 2022. – № 3. – С. 22–26.

5. Чигирь, И. В. Обоснование способа защиты моноимпульсных импульсно-доплеровских радиолокаторов сопровождения от комбинированных имитирующих и маскирующих помех самоприкрытия / И. В. Чигирь // Сб. науч. ст. ВА РБ. – 2021. – № 41. – С. 92–100.

6. Чигирь, И. В. Синтез Байесовского алгоритма обнаружения и оценивания параметров коррелированной ответной шумовой помехи / И. В. Чигирь // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2022. – № 4 (77). – С. 114–121.

7. Чигирь, И. В. Анализ показателей качества устройства обнаружения и оценивания параметров протяженной по дальности коррелированной ответной шумовой помехи в импульсно-доплеровских РЛС [Электронный ресурс] / И. В. Чигирь, С. А. Горшков // Журнал радиоэлектроники. – 2023. – № 3. – URL: <http://jre.cplire.ru/jre/mar23/6/text.pdf> (дата обращения: 14.12.2023).

8. Чигирь, И. В. Устройство когерентной компенсации протяженных по дальности коррелированных ответных шумовых помех в импульсно-доплеровских радиолокаторах сопровождения / И. В. Чигирь, С. А. Горшков // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2019. – № 2 (63). – С. 105–113.

9. Чигирь, И. В. Пеленгация постановщика комбинированной имитирующей и маскирующей помехи в доплеровских радиолокаторах сопровождения / И. В. Чигирь, С. А. Горшков, А. В. Шуляк // Наука и воен. безоп. – 2023. – № 1. – С. 29–35.

10. Чигирь, И. В. Методика синтеза алгоритма пеленгации постановщика комбинированной имитирующей и маскирующей помехи самоприкрытия в моноимпульсных импульсно-доплеровских радиолокаторах сопровождения

[Электронный ресурс] / И. В. Чигирь, С. А. Горшков // Журнал радиоэлектроники. – 2023. – № 4. – URL: <http://jre.cplire.ru/jre/apr23/4/text.pdf> (дата обращения: 20.12.2023).

11. Чигирь, И. В. Гидроакустическое моделирование радиоэлектронного противоборства радиолокатора сопровождения и постановщика комбинированной имитирующей помехи самоприкрытия / И. В. Чигирь, С. А. Горшков // Наука и воен. безоп. – 2023. – № 2. – С. 27–34.

Доклады в сборниках материалов научных конференций

12. Кузьмичев, Н. К. Анализ воздействия имитирующих помех на кросс-поляризации на моноимпульсный пеленгатор / Н. К. Кузьмичев, И. В. Чигирь // XII Машеровские чтения : материалы междунар. науч. практ. конф. студ., аспирант. и мол. учен. : сб. материалов, Витебск, 19 окт. 2018 г. / Витебский гос. ун-т имени П. М. Машерова. – Витебск, 2018. – С. 18.

13. Чигирь, И. В. Модель комбинированной имитирующей и маскирующей помехи для подавления РЛС сопровождения / И. В. Чигирь, Н. К. Кузьмичев, С. А. Горшков // Информационные технологии и системы 2017 (ИТС-2017) : материалы междунар. науч. конф. (БГУИР, Минск, Республика Беларусь, 25 окт. 2017) = Information Technologies and Systems 2016 (ITS-2017) : Proceeding of Belarus, 25th October 2017) / редкол. : Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск : БГУИР, 2017. – С. 272.

14. Чигирь, И. В. Математическая модель комбинированной имитирующей маскирующей помехи для импульсно-доплеровских РЛС точного измерения координат / И. В. Чигирь, Н. К. Кузьмичев // XI Машеровские чтения : материалы междунар. науч.-практ. конф. студ., аспирант. и мол. учен., Витебск, 18 окт. 2017 г. / Витеб. гос. ун-т ; редкол. : И. М. Прищепа (гл. ред.) [и др.]. – Витебск : ВГУ имени П. М. Машерова, 2017. – С. 41.

15. Чигирь, И. В. Анализ особенностей действия комбинированной имитирующей и маскирующей помехи на следящие системы радиолокационной станции сопровождения [Электронный ресурс] / И. В. Чигирь, Н. К. Кузьмичев, С. А. Горшков // Информационные технологии в образовании, науке и производстве : матер. междунар. науч.-техн. интернет конф., Минск, 18–19 нояб. 2017 г. – URL: <http://jre.cplire.ru/jre/apr23/4/text.pdf> (дата обращения: 20.12.2023).

16. Чигирь, И. В. Уточненная методика расчета дальности действия РЛС квазинепрерывного (неперывного) излучения на фоне мешающих излучений и отражений с учетом затуханий в атмосфере и гидрометеорах / И. В. Чигирь, Н. К. Кузьмичев // Информационные технологии и системы 2016 (ИТС-2016): материалы междунар. науч. конф. (БГУИР, Минск, Республика Беларусь, 26 окт. 2016) = Information Technologies and Systems 2016 (ITS-2016) : Proceeding of Belarus, 26th October 2016) / редкол. : Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск : БГУИР, 2016. – С. 274–275.

17. Кузьмичев, Н. К. Моделирование сложных помеховых ситуаций [Электронный ресурс] / Н. К. Кузьмичев, И. В. Чигирь, С. А. Горшков // Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании,

производстве и научных исследованиях : материалы XX Республ. науч. конф. студ. и аспирантов (Гомель, 20–22 марта 2017 г.) : в 2 ч. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2016. – С. 79.

18. Чигирь, И. В. Анализ эффективности критериев обнаружения уводящих помех по дальности и скорости при их согласованном применении [Электронный ресурс] / И. В. Чигирь, Н. К. Кузьмичев, С. А. Горшков // Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях : материалы XX Республ. науч. конф. студ. и аспирантов (Гомель, 20–22 марта 2017 г.) : в 2 ч. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2016. – С. 97.

19. Чигирь, И. В. Способ защиты измерителей дальности и скорости импульсно-доплеровских РЛС сопровождения при воздействии комбинированных имитирующих и маскирующих помех / И. В. Чигирь // 9-я Междунар. науч. конф. по воен.-техн. пробл., пробл. обор. и безоп., исп. технол. двойного прим., Минск, 23–26 июня 2021 г. : сб. мат. – Минск : Звезда, 2021. – С. 214–217.

20. Чигирь, И. В. Совместное обнаружение-измерение параметров комбинированной имитирующей и маскирующей помехи в радиолокаторах точного измерения координат наземного и воздушного базирования [Электронный ресурс] / И. В. Чигирь, Н. К. Кузьмичев, С. А. Горшков // Актуальные проблемы и перспективы развития авиации : сб. материалов V Междунар. науч.-практ. конф. УО «БГАА» . – Минск, 22 окт. 2020 г. – Минск : БГАА, 2020. – С. 106–109.

21. Чигирь, И. В. Синтез обнаружителя-измерителя параметров коррелированной ответной шумовой помехи / И. В. Чигирь // Актуальные вопросы развития систем автоматизации, радиолокации и приемо-передающих устройств : материалы Респ. науч.-практ. семинара кафедры автоматизации, радиолокации и приемо-передающих устройств, 30 нояб. 2022 г. – Минск : Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь, 2023. – С. 43–46.

22. Чигирь, И. В. Алгоритм оценки ширины спектра протяженной по дальности коррелированной ответной шумовой помехи [Электронный ресурс] / И. В. Чигирь, Н. К. Кузьмичев // Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях : материалы XXIII Респ. науч. конф. студ. и аспирантов. – Гомель, 23–25 марта 2020 г. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2019. – С. 62–63.

23. Чигирь, И. В. Алгоритм совместного обнаружения-измерения параметров протяженной по дальности коррелированной ответной шумовой помехи в радиолокаторах сопровождения / И. В. Чигирь // Информационные технологии и системы 2020 (ИТС-2020) : материалы междунар. науч. конф. Минск, 18 нояб. 2020 г. / редкол. : Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск : БГУИР, 2022. – С. 211–212.

24. Чигирь, И. В. Аппроксимация плотности вероятности предположительной статистики адаптивного обнаружителя протяженной по дальности коррелированной ответной шумовой помехи / И. В. Чигирь, С. А. Горшков // XVI Машеровские чтения : материалы междунар. науч.-практ. конф. студ., аспирантов,

мол. учен., Витебск, 21 окт. 2022 г. / Витеб. гос. ун-т ; редкол. : Е. Я. Аршанский (гл. ред.) [и др.]. – Витебск : ВГУ имени П. М. Машерова, 2022. – С. 56.

25. Чигирь, И. В. Алгоритм компенсации протяженных узкополосных ответных шумовых помех [Электронный ресурс] / И. В. Чигирь, С. А. Горшков // Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях : материалы XXII Респ. науч. конф. студ. и аспирантов, Гомель, 25–27 марта 2019 г. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2019. – С. 95–96.

26. Чигирь, И. В. Анализ алгоритма компенсации протяженных по дальности узкополосных ответных шумовых помех в импульсно-доплеровских радиолокаторах точного измерения координат / И. В. Чигирь, Н. К. Кузьмичев, С. А. Горшков // 8-я Междунар. науч. конф. по военно-техническим проблемам, проблемам обороны и безопасности, использованию технологий двойного применения, Минск, 16–17 мая 2019 г. : сб. науч. ст. : в 5 ч. / Государственный военно-промышленный комитет Республики Беларусь. – Минск : Лаборатория интеллекта, 2019. – Ч. 2. – С. 111–114.

27. Кузьмичев, Н. К. Синтез структуры и алгоритма работы моноимпульсного пеленгатора, адаптивного к поляризации принятого сигнала / Н. К. Кузьмичев, И. В. Чигирь // 8-я Междунар. науч. конф. по военно-техническим проблемам, проблемам обороны и безопасности, использованию технологий двойного применения, Минск, 16–17 мая 2019 г. : сб. науч. ст. : в 5 ч. / Государственный военно-промышленный комитет Республики Беларусь. – Минск : Лаборатория интеллекта, 2019. – Ч. 2. – С. 39–42.

28. Чигирь, И. В. Алгоритм работы углового дискриминатора РЛС точного измерения координат при воздействии КИМ-помехи / И. В. Чигирь // Информационные технологии и системы 2021 (ИТС-2021) : материалы междунар. науч. конф. (БГУИР, Минск, Республика Беларусь, 24 нояб. 2021 г.) = Information Technologies and Systems 2021 (ITS-2021) / редкол. : Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск : БГУИР, 2021. – С. 168–169.

29. Садовская, А. М. Исследование маскирующих свойств активных шумовых помех с различной полосой при воздействии на импульсно-доплеровскую РЛС сопровождения / А. М. Садовская, Р. А. Чарчян, И. В. Чигирь // IV Респ. форум молодых ученых учреждений высшего образования с международным участием : сб. матер. форума, Гомель, 18–20 мая 2025 г. ; редкол. : Д. Л. Коваленко (гл. ред.) [и др.] ; М-во. образования Респ. Беларусь, Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2025. – С. 70–72.

Тезисы докладов научных конференций

30. Кузьмичев, Н. К. Обзор и анализ существующих способов постановки кросс-поляризационных помех / Н. К. Кузьмичев, И. В. Чигирь, А. А. Арефьев // Обеспечение военной безопасности государства: проблемы и перспективы : тезисы докл. междунар. воен.-науч. конф. Минск, 23–24 марта 2017 г. / Воен. акад. Респ. Беларусь ; редкол. : Т. Я. Талейкина [и др.]. – Минск : Воен. акад. Респ. Беларусь, 2017. – С. 398.

31. Чигирь, И. В. Математическая модель комбинированной имитирующей маскирующей помехи / И. В. Чигирь, Н. К. Кузьмичев, С. А. Горшков // Актуальные вопросы науки и техники в сфере развития авиации: тезисы докл. междунар. науч.-практ. конф., Минск, 18–19 мая 2017 г. / Воен. акад. Респ. Беларусь; редкол. : С. Б. Калитин [и др.]. – Минск : Воен. акад. Респ. Беларусь, 2017. – С. 93.

32. Чигирь, И. В. Модель движения уводящей помехи по дальности и скорости при подавлении импульсно-доплеровской РЛС сопровождения / И. В. Чигирь, Н. К. Кузьмичев, С. А. Горшков // Актуальные проблемы ведения разведки, РЭБ и профессиональной подготовки специалистов : тезисы докл. междунар. науч.-техн. конф., Минск, 23–24 мая 2017 г. / Воен. акад. Респ. Беларусь ; редкол. : Н. К. Неверко [и др.]. – Минск : Воен. акад. Респ. Беларусь, 2017. – С. 256.

33. Чигирь, И. В. Уточненная методика расчета дальности действия РЛС квазинепрерывного (непрерывного) излучения на фоне мешающих отражений и мешающих излучений / И. В. Чигирь, С. А. Горшков // Актуальные вопросы науки и техники в сфере развития авиации : тезисы докл. междунар. науч.-практ. конф., Минск, 19–20 мая 2016 г. / Воен. акад. Респ. Беларусь ; редкол. : С. Б. Калитин [и др.]. – Минск : Воен. акад. Респ. Беларусь, 2016. – С. 172.

34. Чигирь, И. В. Идентификация уводящих помех по дальности и скорости в радиолокаторах точного измерения координат / И. В. Чигирь, Н. К. Кузьмичев, С. А. Горшков // Обеспечение военной безопасности государства: проблемы и перспективы : тезисы докл. междунар. воен.-науч. конф., Минск, 23–24 марта 2017 г. / Воен. акад. Респ. Беларусь ; редкол. Т. Я. Талейкина [и др.]. – Минск : Воен. акад. Респ. Беларусь, 2017. – С. 403.

35. Чигирь, И. В. Синтез устройства обнаружения комбинированных имитирующих и маскирующих помех в РЛС сопровождения / И. В. Чигирь, С. А. Горшков // Актуальные вопросы науки и техники в сфере развития авиации : тезисы докл. междунар. науч.-практ. конф., Минск, 20–21 мая 2019 г. / Воен. акад. Респ. Беларусь – Минск, 2019. – С. 105.

36. Чигирь, И. В. Алгоритм обнаружения комбинированной имитирующей маскирующей помехи / И. В. Чигирь, С. А. Горшков // Актуальные вопросы науки и техники в сфере развития авиации : тезисы докл. междунар. науч.-практ. конф., Минск, 17–18 мая 2018 г. / Воен. акад. Респ. Беларусь ; редкол. : С. Б. Калитин [и др.]. – Минск : Воен. акад. Респ. Беларусь, 2018. – С. 151.

37. Чигирь, И. В. Анализ устройств подавления ответных шумовых помех в радиолокаторах сопровождения / И. В. Чигирь, Н. К. Кузьмичев, С. А. Горшков // Проблемы обеспечения военной безопасности государства в современных условиях : тезисы докл. междунар. воен.-науч. конф., Минск, 17–18 апр. 2019 г. / Воен. акад. Респ. Беларусь ; редкол. : Т. Я. Талейкина [и др.]. – Минск, 2019. – С. 318.

38. Чигирь, И. В. Структурная схема и алгоритм работы дискриминатора амплитудного моноимпульсного пеленгатора, адаптивного к поляризации принятого сигнала / И. В. Чигирь, Н. К. Кузьмичев // Проблемы обеспечения военной безопасности государства в современных условиях : тезисы докл. междунар. воен.-науч. конф., Минск, 17–18 апр. 2019 г. / Воен. акад. Респ. Беларусь ; редкол. : Т. Я. Талейкина [и др.]. – Минск, 2019. – С. 289.

РЕЗЮМЕ

Чигирь Иван Викторович

Обнаружение и оценивание параметров комбинированной имитирующей и протяженной по дальности коррелированной маскирующей помехи для пеленгации ее постановщика

Ключевые слова: моноимпульсная импульсно-доплеровская радиолокационная станция сопровождения целей, защита от помех, комбинированная имитирующая и маскирующая помеха, протяженная по дальности коррелированная ответная шумовая помеха, уводящая помеха по дальности и скорости.

Цель работы: решение задачи обнаружения и повышения точности пеленгации постановщика комбинированной имитирующей и маскирующей помехи самоприкрытия в моноимпульсных импульсно-доплеровских радиолокационных станциях сопровождения целей.

Методы исследований: методы статистического синтеза устройства совместного обнаружения-измерения временных параметров протяженных объектов и структурно-параметрического синтеза дискриминатора угловых координат, а также метод имитационного математического моделирования.

Полученные результаты и их новизна: разработана методика синтеза квазиоптимального устройства совместного обнаружения-оценивания параметров протяженной по дальности коррелированной ответной шумовой помехи, действующей в составе комбинированной имитирующей и маскирующей помехи самоприкрытия, отличающаяся режектированием сопровождаемого сигнала (уводящей помехи), обнаружением протяженной по дальности коррелированной ответной шумовой помехи с адаптацией к ее параметрам, что позволило обнаруживать и оценивать параметры такой помехи с высокими показателями качества. Разработана методика структурно-параметрического синтеза дискриминатора угловых координат постановщика комбинированной имитирующей и маскирующей помехи, основанная на весовом усреднении с нормированием к суммарной энергии ее маскирующей составляющей стробированных по дальности и скорости рассогласований угловых координат, что позволило повысить точность оценивания их угловых координат.

Рекомендации по использованию: результаты исследований могут быть использованы для повышения точности измерения угловых координат воздушных целей – постановщиков комбинированных помех самоприкрытия в разрабатываемых моноимпульсных импульсно-доплеровских радиолокаторах сопровождения.

Область применения: модернизация моноимпульсных импульсно-доплеровских радиолокационных станций сопровождения старого парка, а также проектирование и создание перспективных радиолокаторов нового поколения.

РЭЗІЮМЭ

Чыгір Іван Віктаравіч

Выяўленне і вымярэнне параметраў камбінаванай імітуючай і працяглай па далёкасці карэляванай маскіравальнай перашкоды для пеленгацыі яе пастаноўшчыка

Ключавыя словы: монаімпульсная імпульсна-доплераўская радыёлакацыйная станцыя суправаджэння мэтаў, абарона ад перашкод, камбінаваная імітуючая і маскіравальная перашкода, працяглая па далёкасці карэляваная зваротная шумавая перашкода, уводзячая перашкода па далёкасці і хуткасці.

Мэта працы: рашэнне задачы выяўлення і падвышэння дакладнасці пеленгацыі пастаноўшчыка камбінаванай імітуючай і маскіруючай перашкоды самапрыкрыцця ў монаімпульсных імпульсна-доплераўскіх радыёлакацыйных станцыях суправаджэння мэтаў.

Метады даследавання: метады статыстычнага сінтэзу прылады сумеснага выяўлення-вымярэння часовых параметраў працяглых аб'ектаў і структурна-параметрычнага сінтэзу дыскрымінатара кутніх каардынатаў, а таксама метад імітацыйнага матэматычнага мадэлявання.

Атрыманьня вынікі і іх навізна: распрацавана метадыка сінтэзу квазіаптымальнай прылады сумеснага выяўлення-ацэньвання параметраў працяглай па далёкасці карэляванай адказнай шумавой перашкоды, якая дзейнічае ў складзе камбінаванай імітуючай і маскіравальнай перашкоды самапрыкрыцця, адрозная рэжэкцыйй суправаджальнага сігнала (уводзячай перашкоды), выяўлення працяглай па далёкасці карэляванай адказнай шумавой перашкоды з адаптацыяй да яе параметраў, што дазволіла выявіць і ацаніць параметры такой перашкоды з высокімі паказчыкамі якасці. Распрацавана метадыка структурна-параметрычнага сінтэзу дыскрымінатара кутніх каардынат пастаноўшчыка камбінаванай імітуючай і маскіравальнай перашкоды, заснаванай на вагавым асерадненні з нарміраваннем да сумарнай энергіі яе маскіравальнага складніка стробаваных па далёкасці і хуткасці разузгадненняў кутніх каардынатаў, што дазволіла падвысіць дакладнасць ацэньвання іх кутніх каардынатаў.

Рэкамендацыі па выкарыстанні: вынікі даследаванняў могуць быць скарыстаны для падвышэння дакладнасці вымярэння кутніх каардынатаў паветраных мэтаў – пастаноўшчыкаў камбінаваных перашкод самапрыкрыцця ў распрацоўваных монаімпульсных імпульсна-доплераўскіх радыёлакатарах суправаджэння.

Галіна ужывання: мадэрнізацыя монаімпульсных імпульсна-доплераўскіх радыёлакацыйных станцый суправаджэння старога парка, а таксама праектаванне і стварэнне перспектыўных радыёлакатараў новага пакалення.

SUMMARY

Chyhir Ivan

Detection and estimation of parameters of active combined simulating and masking self-covering jamming for direction finding of jammer

Keywords: monopulse pulse-Doppler tracking radar, counter-countermeasures, combined simulating and masking jamming, cover-pulse jamming, range and speed diverting jamming.

Purpose of the work: solution to the problems of detection and increasing the accuracy of direction finding of the producer of combined simulating and masking self-covering jamming in monopulse pulse-Doppler tracking radar.

Research methods: methods of statistical synthesis of a device for joint detection and measurement of temporal parameters of extended objects and structural-parametric synthesis of an angular coordinate discriminator, as well as a method of simulation mathematical modeling.

The results obtained and their novelty: a method has been developed for the synthesis of a quasi-optimal device for joint detection and estimation of parameters of combined simulating and masking self-covering jamming, operating as part of a combined simulating and masking self-covering interference, characterized by rejection of the accompanied signal (leading interference), detection of masking self-covering jamming with adaptation to its parameters, which made it possible to detect and evaluate the parameters of such interference with high quality indicators. A technique has been developed for the structural-parametric synthesis of a discriminator of angular coordinates for the producer of a combined simulating and masking self-covering jamming, based on weight averaging with normalization to the total energy of its masking component of angular coordinate mismatches gated by range and speed, which has made it possible to increase the accuracy of estimating their angular coordinates.

Recommendations for use: the research results can be used to improve the accuracy of measuring the angular coordinates of air targets – producers of combined self-cover jammers in the developed monopulse pulse-Doppler tracking radars.

Scope: modernization of monopulse pulse-Doppler tracking radar of the old fleet, as well as the design and creation of promising new generation radars.

Подписано в печать 22.12.2025. Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 1,86. Тираж 40 экз. Заказ 202.

Полиграфическое исполнение:
учреждение образования «Военная академия Республики Беларусь».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий
№ 2/81 от 19.03.2014.
Пр. Независимости, 220, 220057, Минск.