

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу **Елагиной Ксении Александровны** «Адаптивные алгоритмы обнаружения и разрешения ЧМ сигналов в РЛС обзора при сложном помеховом воздействии», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.12.14 – Радиолокация и радионавигация

Актуальность темы диссертационной работы определяется незавершённостью исследований при решении компромиссной задачи увеличения помехозащищённости РЛС и уменьшения потерь в обнаружении.

Поскольку рассматриваемая задача полностью не решена, необходимость исследований в данной области не вызывает сомнений.

В диссертационной работе исследованы несинхронные точечные и несинхронные протяжённые по дальности помехи, отражения от «ясного неба», помехи от сверхрефракции. Также в работе рассмотрены случаи, когда помеховыми воздействиями являются отражения, принятые боковыми лепестками соседних по дальности целей, или точечные местные предметы. В качестве потерь в обнаружении рассмотрены потери на весовую обработку, дискретизацию, потери за счёт введения скоростной селекции.

Целью работы является увеличение помехозащищённости РЛС от несинхронных точечных и несинхронных протяжённых по дальности помех, отражений от «ясного неба», помех от сверхрефракции.

Основная идея диссертации заключается в использовании многоканальных обнаружителей с разной весовой обработкой в каналах. Заложенные в них алгоритмы обнаружения обеспечивают уменьшение потерь при малом числе ложных отметок, а также позволяют повысить характеристики обнаружения целей, движущихся с малыми радиальными скоростями:

Такой подход наиболее продуктивен применительно к наземным РЛС.

Наиболее значимые результаты диссертации

По результатам исследований, выполненных в главе 1, показано, что существующие в настоящее время алгоритмы обнаружения не всегда позволяют обеспечить малое число ложных обнаружений в условиях сложной помеховой обстановки, в частности, в условиях отражений от «ясного неба», несинхронных точечных и шумовых помех, помех от сверхрефракции, а также при наличии отражений, принятых боковыми лепестками от близкорасположенных по дальности целей.

Проведённый анализ литературы по теме исследования подтвердил необходимость синтеза и анализа более эффективных алгоритмов обнаружения, обеспечивающих улучшение показателей обнаружения при заданной вероятности ложных тревог.

Во второй главе, в качестве решения компромиссной задачи уменьшения потерь обнаружения и стабилизации вероятности ложной тревоги, автором предложен двухканальный обнаружитель ЧМ сигналов, в одном из каналов которого применяется весовая обработка.

Для уменьшения потерь при обнаружении малоразмерной цели на фоне отражений, принятых боковыми лепестками сжатых сигналов мощных целей автор предлагает использовать обнаружитель с разной весовой обработкой в двух каналах и со стабилизацией вероятности ложной тревоги. Выигрыш от применения обнаружителя с двумя каналами весовой обработки в среднем составляет 1...3 дБ относительно обнаружителя с одним каналом (как с весовой обработкой, так и без неё).

Также при непосредственном участии Елагиной К.А. предложен алгоритм обнаружения некогерентной пачки импульсов на фоне априорно неизвестного вида помехи с неизвестными параметрами, разработаны алгоритмы интерполяции пика амплитуды ЧМ сигналов, которые в дальнейшем были реализованы автором на программируемых логических интегральных схемах.

Синтезированы НЧМ сигналы с низким уровнем боковых лепестков, при этом отсутствуют потери на ВО во временной области. Показано, что обнаружители одиночного НЧМ сигнала с 16- и 32-канальным согласованным фильтром по величине порогового сигнала выигрывают у обнаружителя одиночного ЛЧМ сигнала с ВО от 0,6 до 1 дБ (при амплитудных потерях менее 0,2 дБ в диапазоне частот Доплера 0...140 кГц).

Третья глава посвящена алгоритмам обнаружения с некогерентным накоплением пачки импульсов и защите РЛС от отражений от «ясного неба».

В качестве помеховых воздействий рассматриваются несинхронные шумовые и точечные, неоднородные по дальности помехи и помехи от сверхрефракции, отражения от «ясного неба».

Автором предложен алгоритм обнаружения сигналов от целей в условиях помех от сверхрефракции, при этом вероятность ложной тревоги не превышает $10^{-2}...10^{-1}$, а потери обнаружения сигналов от целей не превышают 0,5 дБ.

Разработан алгоритм обнаружения, обеспечивающий высокую вероятность классификации сигнала от движущейся цели и помех типа отражений от «ясного неба», несинхронных точечных и несинхронных протяжённых по дальности помех, помех от сверхрефракции.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Автор достаточно корректно использует известные научные методы обоснования полученных результатов, выводов и рекомендаций. Обоснованность научных положений и выводов диссертационной работы подтверждается тем, что для получения результатов и их пояснения эффективно использованы аналитические оценки, имитационное моделирование разными численными методами в различных программных продуктах. Автором изучены и критически анализируются известные достижения и теоретические положения других исследователей по вопросам уменьшения потерь в обнаружении целей, принятых на фоне несинхронных

помех, как точечных так протяжённые по дальности, отражений от «ясного неба», помех от сверхрефракции. Основные положения и выводы подтверждаются соответствующими результатами анализа, компьютерного моделирования. В конце каждой главы диссертационной работы представлены основные выводы по результатам исследований, которые основываются на согласованности имитационного эксперимента и научных выводов, достаточной аргументированности принятых допущений. Достоверность экспериментальных данных обеспечивается также использованием современных средств и методик проведения исследований, в том числе оригинальных авторских, качественной обработкой полученных результатов с применением современных математических методов.

К результатам, обладающим **научной новизной**, следует отнести:

1. Двухканальный обнаружитель сигналов со стабилизацией вероятности ложной тревоги, в одном из каналов которого применяется весовая обработка, а выходы пороговых устройств объединены операцией логического «ИЛИ».

2. Сигнал с НЧМ с низким уровнем боковых лепестков и алгоритм его обнаружения в диапазоне частот Доплера 0...12 кГц.

3. Методы повышения эффективности защиты РЛС обзора от отражений от «ясного неба», включающие применение сигналов с двумя параметрами вобуляции, ПЧМ сигналов, обработку нескольких пачек импульсов одного углового направления или смежных лучей диаграммы направленности антенны (ДНА), адаптацию частотного порога к мощности сигнала.

4. Алгоритм обнаружения некогерентной пачки импульсов на фоне априорно неизвестного вида помехи, включающей несинхронные шумовые и точечные, неоднородные по дальности помехи и помехи от сверхрефракции.

5. Алгоритмы интерполяции пиковых значений амплитуд ЧМ сигналов.

Научная значимость. Новые научные результаты имеют существенное значение для повышения технических характеристик РЛС. Предложенные в

диссертации Елагиной К.А. алгоритмы обнаружения обеспечивают уменьшение потерь при малом числе ложных отметок, а также позволяют повысить характеристики обнаружения целей, движущихся с малыми радиальными скоростями:

В обнаружителе со стабилизацией вероятности ложной тревоги предложен новый способ уменьшения потерь до 1...3 дБ.

Синтезирован НЧМ сигнал с низким уровнем боковых лепестков, при применении которого в качестве зондирующего сигнала РЛС можно уменьшить пороговый сигнал до 3,5 дБ. Даны рекомендации по применению обнаружителей ЛЧМ и НЧМ сигналов в разных диапазонах частот Доплера.

Предложены улучшенные алгоритмы некогерентного накопления с адаптивным к мощности сигнала порогом по частоте Доплера, позволяющие уменьшить радиальные скорости обнаруживаемых целей в 1,7...4,5 раза.

Проведена модернизация алгоритма некогерентного накопления с частотным порогом на основе бланкирования и исключения из выборки накапливаемых отсчётов сигналов помех, при этом потери обнаружения сигналов от целей не превышают 0,5 дБ.

Разработаны алгоритмы некогерентной интерполяции пика амплитуды сигнала, позволяющие уменьшить потери в обнаружении до 0,4 ...1,5 дБ.

Практическая значимость работы состоит в том, что результаты диссертационного исследования использованы при модернизации существующих и разработки перспективных РЛС, а именно:

- исследования по обработке пачки импульсов с двумя параметрами вобуляции по алгоритму некогерентного накопления с частотным порогом, интерполяторы пиковых значений амплитуд ЧМ сигналов (включены в техническое задание и выпущена конструкторская документация), а также способ двухканального обнаружения радиолокационных сигналов со стабилизацией вероятности ложной тревоги использован при модернизации изделий 91Н6АМ и 9С18М1-3;

- исследования диссертации по обнаружению сигналов с нелинейной ЧМ в диапазоне частот Доплера 0...12 кГц, сигналов с периодической ЧМ, рекомендации по применению таких сигналов, алгоритм адаптации частотного порога к мощности сигнала, алгоритм обнаружения некогерентной пачки импульсов на фоне априорно неизвестного вида помехи используются при разработке перспективных РЛС обзора, что подтверждается актом о внедрении результатов диссертации в практические разработки.

Диссертация состоит из введения, 3 глав, заключения и 2 приложений. Общий объем диссертации 157 страниц, в том числе 155 страниц основного текста, включая библиографический список из 67 источников. Иллюстративный материал представлен на 95 рисунках и 11 таблицах. Материал диссертации изложен на достаточно высоком научном уровне с использованием ясных формулировок и логических умозаключений. Диссертация представляет собой серьезную, аргументированную и завершенную научную работу, выполненную на актуальную тему и содержащую важные теоретические и практические результаты. Автор продемонстрировал глубокое знание предмета и методов исследования.

По теме диссертации автором опубликовано 14 работ. Из них 3 статьи опубликованы в ведущих рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК, 1 публикация в сборнике научных трудов, 1 публикация в научно-техническом журнале, 8 публикаций в трудах всероссийских и международных конференций, получен 1 патент. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Замечания

Вместе с тем диссертация не лишена недостатков:

1. Нет четкой формализованной постановки научной задачи, вместо этого приведены несистематизированные задачи исследования.

2. Автор нечетко определяет критерии, по которым оценивались разработанные алгоритмы обнаружения и разрешения. Если это выигрыш в

величине порогового сигнала, то не показано, как при этом изменятся вероятности правильного обнаружения и ложной тревоги. Выражение «имеют место уменьшение потерь обнаружения и стабилизация ВЛТ» (стр. 43 диссертации) не имеет смысла без приведения числовых характеристик вероятностей правильного обнаружения и ложной тревоги.

3. В названии диссертации и главы 2 присутствуют слова «адаптивные алгоритмы обнаружения и разрешения» - это два совершенно разных алгоритма, которые должны разрабатываться на основе своих теорий со своими оценками качества. Решение задачи обнаружения в работе достаточно полно раскрыто, а про решения задачи разрешения, кроме заголовков, нет ни единого упоминания

4. В работе полученные результаты подтверждаются на основе математического моделирования, нет сведений о проведении экспериментов на макетах или конкретной РЛС.

5. В автореферате и диссертации встречаются некорректно сформулированные выражения и выводы:

а) Так в п.4 заключения приведено «Для уменьшения радиальных скоростей обнаруживаемых целей и бланкирования элемента дальности при обнаружении отражений от «ясного неба...» Непонятно каким образом влияет система обработки на радиальную скорость цели.

б) п.1 заключения «...позволяющий обнаруживать малоразмерные цели на фоне мощных боковых лепестков от других целей...». Наверное, автор имел обнаружение на фоне мощных сигналов от цели принятых боковыми лепестками.

Выводы

Отмеченные замечания не являются принципиальными. Диссертационная работа выполнена на актуальную тему, содержит новые научные результаты, имеет значение для теории и практики создания помехоустойчивых систем радионавигации. Автор диссертационной работы

продемонстрировала высокую квалификацию и опубликовала ряд новых и важных научных результатов.

Общее заключение по диссертации:

Диссертация Елагиной Ксении Александровны посвящена исследованиям в области создания помехоустойчивых систем радиолокации, соответствует специальности 05.12.14 – Радиолокация и радионавигация, имеет внутреннее единство и является завершённой научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных лично автором исследований разработаны методы обнаружения ЧМ сигналов в РЛС обзора при сложном помеховом воздействии, совокупность которых можно квалифицировать как новое достижение в области наземных систем радиолокации.

Диссертация соответствует критериям, установленным п. 9 «Положения о порядке присуждения учёных степеней» (постановление Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842) для учёной степени кандидата наук, а её автор, Елагина Ксения Александровна, достойна присуждения учёной степени кандидата технических наук.

Официальный оппонент,

канд. техн. наук, доцент, профессор отдела «Радиолокационное вооружение Радиотехнических войск Воздушно-космических сил» Военно-инженерного института Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский федеральный университет»,

«01» июня 2017 г.

Тяпкин Валерий Николаевич

660036, г. Красноярск, ул. Академгородок д.13а, т. 83912063283,

tyapkin58@mail.ru



ФГАОУ ВО СФУ		
Подпись	<i>В.Н. Анискина</i>	заверяю
Начальник общего отдела	<i>Д.И. Гаврилов</i>	
« 01 »	06	2017 г.