

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Козлова Сергея Александровича
«Временная обработка сигналов, отраженных от малоразмерных и
малоскоростных объектов в присутствии помех»,
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук по специальности 1.3.4 – Радиофизика

Тема диссертационной работы Козлова Сергея Александровича лежит в рамках актуального направления в радиофизике и радиолокации, связанного с разработкой и исследованием методов и алгоритмов временной обработки слабых сигналов на фоне мощного помехового или полезного сигнала в условиях ограниченного времени наблюдения, и соответственно низкого частотного разрешения. В диссертационной работе рассматриваются три основные задачи: (1) анализ проекционного метода доплеровской фильтрации при обнаружении малоскоростных объектов с минимальными потерями в отношении сигнал-шум; (2); разработка методов и алгоритмов временной обработки сигналов, отраженных от летательных аппаратов, содержащие динамические элементы конструкции; (3) разработка метода селекции имитирующей помехи и полезного сигнала, имеющего многомодовую структуру. Актуальность темы диссертации подтверждается большим числом публикаций в научно-технических журналах, а также активной постановкой новых опытно-конструкторских работ по разработке радиоэлектронных средств по обнаружению беспилотных летательных аппаратов.

Целью работы является анализ и синтез методов временной обработки радиолокационных сигналов, отраженных от малоразмерных малоскоростных летательных аппаратов, в том числе с винтовым двигателем, в импульсных когерентных радиолокационных системах в присутствии помех.

Единство и цельность диссертационной работы обусловлены поставленной задачей по разработке методов временной обработки сигналов в современных радиотехнических системах в присутствии помех. Автором выполнен большой объем работ, связанный с теоретическим анализом методов временной обработки на основе корреляционных свойств полезных сигналов и помех, а также обработкой экспериментальных данных в когерентно-импульсной радиолокационной системе. Автор продемонстрировал достаточно высокую квалификацию в статистической радиофизике и радиолокации. Результаты работы хорошо проиллюстрированы и обоснованы, апробированы на различных

конференциях, что свидетельствует об их достоверности. В целом в диссертации получены новые, значимые для радиофизики и радиолокации результаты, которые развивают имеющиеся знания о методах подавления пассивных помех в условиях обнаружения малоскоростных целей, сверхразрешающих методах при наличии вторичной модуляции и методах селекции активных имитирующих помех. Таким образом, диссертационная работа Козлова Сергея Александровича полностью соответствует специальности 1.3.4 - Радиофизика, а ее актуальность не вызывает сомнений.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы и приложения с актом внедрения. Общий объем составляет 161 страницу.

Во **введении** обоснована актуальность диссертационной работы, сформулирована ее цель и задачи, указана научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов, приводятся положения, выносимые на защиту, описана структура и приведено краткое содержание диссертации. Отражен личный вклад автора. Введение содержит сведения о достоверности и апробации результатов.

Первая глава посвящена анализу математических моделей и результатов экспериментальных исследований по обнаружению малоскоростных воздушных объектов на основе проекционного метода доплеровской фильтрации. Во **второй главе** проводятся исследования, направленные на выявление модуляционных признаков вторичного излучения, возникающих за счет рассеяния от динамических элементов конструкции цели. В **третьей главе** проводятся исследования метода селекции имитирующих радиопомех. В качестве селектирующего признака применена мера когерентности сигналов на основе вычисления энтропии распределения энергии сигнала по собственным подпространствам его выборочной корреляционной матрицы. В разделе «**Заключение**» обобщены проведенные исследования и полученные результаты. Выводы диссертационного исследования соответствуют поставленным в работе цели и задачам.

Диссертационная работа Козлова С.А. изложена грамотным научным языком и представляет собой логично построенное, успешно выполненное завершённое научное исследование. Автореферат отражает содержание диссертации.

Диссертационное исследование определено обладает *научной новизной*. В частности, впервые обоснована и получена экспериментальная

апробация возможности применения проекционного метода квазиоптимальной межпериодной обработки при обнаружении сигналов, отраженных от малоскоростных малоразмерных летательных аппаратов на фоне сигналов интенсивных и протяженных пассивных помех.

Предложен новый метод распознавания сигналов на основе анализа собственных чисел выборочной корреляционной матрицы, отраженных от летательных аппаратов с винтовым двигателем, обеспечивающий, в отличие от существующих методов сверхразрешения, распознавание сигналов с планерной составляющей и равномерным спектром винтовых составляющих.

Теоретически обоснован, экспериментально подтвержден и запатентован новый метод селекции имитирующих помех и сигналов, отраженных от летательных аппаратов, в том числе с винтовым двигателем, на основе оценки энтропии распределения энергии сигнала по собственным числам выборочной корреляционной матрицы.

Результаты диссертационной работы обладают *теоретической и практической значимостью*. Теоретически обоснованные методы по обнаружению, селекции и распознаванию сигналов с фазо-частотными флуктуациями могут быть использованы для развития теории приема и пространственно-временной обработки сигналов. Представленные в данной работе результаты и разработанные методы внедрены в ведущем предприятии-разработчике радиолокационных систем, что подтверждает непосредственную практическую значимость. Кроме того, полученные результаты могут быть применены и в других радиофизических измерительных системах, решающие задачи исследования электромагнитной обстановки, обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств, в системах радионавигации и радиосвязи.

Достоверность научных положений и выводов, полученных в диссертации, обеспечивается строгостью применяемого математического аппарата, а также результатами сравнения компьютерного моделирования и натурных экспериментов. Обоснованность большинства результатов работы следует из получаемых точных соотношений в рамках рассматриваемых моделей и их стыковки с ранее известными результатами, а в случае приближенных расчетов подтверждаются результатами численного моделирования.

Основные положения, выводы и результаты исследования были представлены и обсуждены на международных, всероссийских и региональных конференциях. По результатам диссертации имеется

достаточное число публикаций в журналах, рекомендованных ВАК – 10 статей, из них 4 по специальности 1.3.4 – Радиофизика. Приоритет и новизна полученных результатов подтверждена наличием трех действующих патентов и актом внедрения.

Тем не менее, к диссертации имеется ряд вопросов и замечаний:

1. В работе не рассмотрен случай обнаружения и распознавания сигналов со вторичной модуляцией от групповой воздушной цели, имеющий на практике большой интерес.

2. В названии диссертации говорится о временной обработке, однако в разделе 3.1 приводится пример пространственной обработки при обнаружения группового воздушного объекта.

3. Из диссертации не ясно, если ретранслятор будет иметь идентичную структуру приемо-передатчика, как и в РЛС, будет ли наблюдаться различие в количественной мере степени когерентности сигналов на основе энтропии. Не означает ли это, что в этих условиях предложенный метод селекции будет неработоспособен?

Указанные замечания не снижают общей ценности работы и положительной оценки диссертации, которая содержит решение научных задач, имеющих существенное значение для развития статистической радиофизики и радиолокации.

Диссертация Козлова С.А. «Временная обработка сигналов, отраженных от малоразмерных и малоскоростных объектов в присутствии помех» является завершённой научно-квалификационной работой, результаты которой, на основании полученных автором оригинальных исследований, могут быть использованы при проектировании систем пространственно-временной обработки сигналов современных радиотехнических систем.

Содержание работы соответствует отрасли физико-математические науки, специальности 1.3.4 – Радиофизика, а именно п.4 «Исследование флуктуаций, шумов, случайных процессов и полей в сосредоточенных и распределённых стохастических системах (статистическая радиофизика). Создание новых методов анализа и статистической обработки сигналов в условиях помех» и п.7 «Разработка теоретических основ новых методов и систем связи, навигационных, активных и пассивных локационных систем, основанных на использовании излучения и приема волновых полей различной физической природы и освоении новых частотных диапазонов». Работа соответствует критериям, установленным требованиями пп. 9-11, 13, 14 действующего «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого

