

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Кудряшовой Ольги Евгеньевны «Методы селекции и разрешения радиолокационных сигналов на основе анализа собственных чисел корреляционной матрицы», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4 – Радиофизика

Диссертационная работа Кудряшовой Ольги Евгеньевны посвящена одной из актуальных проблем радиофизики – селекции и защите радиотехнических систем от имитирующих сигналоподобных радиопомех. Современные радиотехнические системы, такие как радиолокационные, радионавигационные и системы связи, постоянно сталкиваются с задачами, связанными с обнаружением слабых сигналов на фоне мощных помех. Эта проблема особенно остро стоит при низком отношении сигнал-шум, когда полезный сигнал практически теряется в шумовом фоне.

Диссертационное исследование Кудряшовой О.Е. предлагает современный подход к решению этой задачи, основанный на глубоком аналитическом исследовании статистических характеристик собственных чисел выборочной корреляционной матрицы. Работа представляет собой значительный вклад в область пространственно-временной обработки сигналов. Традиционные методы обработки радиолокационных сигналов часто используют приближенные оценки или численные методы для анализа собственных чисел корреляционной матрицы. Эти методы, хотя и эффективны в некоторых случаях, имеют существенные ограничения. Погрешности, возникающие при использовании приближений, становятся особенно критичными при низком отношении сигнал/шум и в условиях сложной помеховой обстановки, например, при наличии множества близко расположенных источников сигналов. Неточность анализа может привести к ложным срабатываниям, пропуску важных сигналов и, как следствие, к снижению эффективности всей системы. Ключевое достижение диссертации Кудряшовой заключается в выводе аналитических выражений для интегральных функций распределения собственных чисел выборочной корреляционной матрицы. Это наиболее важный результат, который позволяет избежать недостатков приближенных методов.

Целью диссертационной работы является синтез методов пространственно-временной обработки радиолокационных сигналов для импульсных радиолокационных систем с антенными решетками на основе анализа собственных чисел корреляционной матрицы в сложной сигнально-помеховой обстановке. Диссертационная работа Кудряшовой Ольги Евгеньевны полностью *соответствует специальности «Радиофизика»*, а ее *актуальность* не вызывает сомнений.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы. Общий объем составляет 113 страниц.

Введение посвящено обоснованию актуальности выбранной темы диссертационной работы, сформулирована ее цель и задачи, представлены

основные положения, выносимые на защиту, указана научная новизна, обозначена теоретическая и практическая значимость работы, характеризуется степень обоснованности и достоверности научных положений, результатов проведенных исследований и выводов. Введение содержит личный вклад автора, а также приведено краткое содержание диссертационной работы.

В первой главе рассматриваются статистические характеристики всех собственных чисел выборочной корреляционной матрицы сигналов, поступающих с элементов антенной решётки, при наличии произвольного числа мощных внешних источников и для любого размера выборки. Получено аналитическое выражение для интегральных функций распределения всех собственных чисел выборочной корреляционной матрицы собственного шума элементов антенной решетки, а также при наличии суммы собственного шума и произвольного числа источников большой мощности, а также в случае короткой выборки.

Вторая глава посвящена анализу статистических характеристик селекции сигналоподобных активных помех, основанному на оценке собственных чисел выборочной корреляционной матрицы. С использованием точной решающей статистики получены кривые селекции (зависимость вероятности правильной селекции от отношения сигнал/шум) для различной длины выборки процесса. Приведены зависимости вероятности правильной селекции от величины фазовых флуктуаций и показано, что отношение сигнал/шум для селекции сигналоподобной помехи при заданной вероятности правильной селекции существенным образом увеличивается при уменьшении фазовых флуктуаций сигнала-помехи.

В третьей главе проведён анализ статистических характеристик разрешения двух источников сигналов с плоскими волновыми фронтами при малых отношениях сигнал/шум на основе анализа собственных чисел выборочной корреляционной матрицы собственного шума приёмной системы. Анализ проведён как для сигналов одинаковой мощности, так и при наличии одного мощного источника сигнала-помехи. Также рассмотрены характеристики разрешения двух источников сигналов при различных углах прихода сигналов. Проведено численное исследование распределения максимального шумового собственного числа при наличии слабого источника сигнала.

В разделе «Заключение» обобщены проведенные исследования и полученные результаты. Выводы диссертационного исследования соответствуют поставленным в работе цели и задачам.

Диссертационная работа Кудряшовой О.Е. изложена понятным языком и представляет собой логично построенное, успешно выполненное завершённое научное исследование. Автореферат полно отражает содержание диссертации.

Диссертационное исследование определенно обладает *научной новизной*. В частности, впервые получено аналитическое выражение для интегральных функций распределения собственных чисел выборочной

корреляционной матрицы при отсутствии источников сигналов для любого размера выборки, а также асимптотическое выражение для интегральных функций распределения собственных чисел при наличии произвольного числа мощных источников сигналов. Разработанный новый метод разрешения двух источников сигналов, принимаемых антенной решеткой, на основе сравнения шумового второго собственного числа выборочной корреляционной матрицы с порогом, обеспечивает, в отличие от существующих методов на основе анализа собственных чисел выборочной корреляционной матрицы, разрешение групповых радиолокационных целей при малых отношениях сигнал/шум. Кроме того, разработанный метод селекции сигналоподобных активных помех на основе полученного аналитического выражения для решающих статистик селекции обеспечивает, в отличие от существующих методов, оптимальную селекцию помех при различных величинах фазовых флуктуаций принимаемых сигналов.

Результаты диссертационной работы обладают *теоретической и практической значимостью*. Теоретическая значимость обусловлена тем, что полученные выражения для интегральных функций распределения собственных чисел выборочной корреляционной матрицы могут быть использованы для развития теории радиолокации, цифровых фазированных антенных решёток, теории радиосвязи, теории обработки сигналов в беспроводных системах связи. Практическая значимость связана с использованием предложенных методов при проектировании и повышении эффективности систем пространственно-временной обработки сигналов современных радиолокационных систем.

Обоснованность и достоверность результатов, полученных в диссертации, обусловлена применением классических методов теории вероятностей и математической статистики, необходимые для анализа случайных процессов, характерных для многих задач в области радиофизики и радиотехники.

Основные результаты диссертационного исследования отражены в 13 публикациях: 6 статей в изданиях, рекомендованных ВАК (из них 5 по специальности 1.3.4 – Радиофизика), а также 7 публикаций тезисов докладов сборниках трудов региональных, всероссийских и международных научных конференций.

Тем не менее, к диссертации имеются замечания:

1. Одна из основных формул, полученных диссертантом в ходе работы, а именно (1.38), получена с опущением некоторых промежуточных результатов. Хотелось бы, чтобы был продемонстрирован более подробный вывод формулы.

2. Критерий Неймана-Пирсона, который используется в главах 2 и 3 для выбора порога, обычно применяется для решения задачи обнаружения сигнала в условиях априорной неопределенности в отношении вероятностей наличия и отсутствия целей в зоне наблюдения, а также не требует задания стоимости принятия ложных решений. В диссертации решается несколько иная задача, связанная с селекцией сигнала, отраженного от цели, на фоне

ложных сигналов, искажающих целевую обстановку. В этих условиях было бы целесообразно рассмотреть более подходящие критерии.

Указанные замечания не снижают общей ценности работы и положительной оценки диссертации.

Диссертация Кудряшовой О.Е. является завершённой научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, приведено решение научной проблемы. Результаты работы апробированы на различных конференциях, в том числе и международного уровня.

Работа удовлетворяет всем требованиям пп. 9 – 11, 13, 14 действующего «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Кудряшова Ольга Евгеньевна заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4 – Радиофизика.

Официальный оппонент:

директор института радиоэлектроники и информационных технологий федерального государственного бюджетного образовательного учреждения

высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева»,

д.т.н. (специальность 05.12.14 Радиолокация и радионавигация),

доцент

_____ Александр Валерьевич Мякинков

« 11 » марта 2025 г.

Адрес: 603155, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24.

Телефон: +7 (831) 436-93-47

e-mail: alex_myakinkov@nntu.ru

Подпись А.В. Мякинкова заверяю

Проректор по научной работе НГТУ



Куркин

А.А. Куркин