

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Семенова Виталия Юрьевича
«Методы пространственно-временной цифровой обработки сигналов в
локационных системах для адаптивного подавления помех, обнаружения и
пеленгации целей», представленную на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук по специальности 1.3.4. – Радиофизика

Актуальность темы диссертации

Диссертация Семенова В.Ю. посвящена развитию методов цифровой пространственно-временной обработки сигналов в радиолокационных системах на базе цифровых антенных решеток. Хорошо известно, что антенные решетки широко и успешно применяются в различных радиосистемах для увеличения выходного отношения сигнал-шум в случае фазированных решеток, а также отношения сигнал-помеха в случае адаптивных решеток. При этом интерес к использованию цифровых антенных решеток для различных приложений возник относительно недавно и не ослабевает, о чем свидетельствует количество публикаций в ведущих научных изданиях.

Можно выделить две основные причины такого интереса. Во-первых, из-за обработки информации в цифровом виде появляются широкие возможности для создания новых методов обработки с уменьшенной вычислительной сложностью, в частности те методы, которые имеют малое время адаптации к сигнально-помеховой обстановке. Во-вторых, наличие возможности преобразования аналогового сигнала в цифровой код позволяет значительно сократить объем аппаратуры и упростить аппаратную реализацию локационных систем.

В диссертации В.Ю. Семенова отражены оба указанных аспекта актуальности выбранного направления исследований. Представлены теоретические методы уменьшения вычислительной сложности процедур подавления помех, обнаружения и пеленгации целей, подкрепленные экспериментом.

Таким образом, тема диссертации, направленная на разработку теоретических основ для новых методов пространственно-временной обработки сигналов в локационных системах с малым временем адаптации, несомненно, является актуальной и имеет значение для расширения теоретических представлений в области адаптивной обработки сигналов в антенных решетках, которые могут найти применение в различных областях современных и перспективных активных и пассивных локационных систем.

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

Научные положения, выводы и рекомендации, полученные в диссертации, в достаточной мере обоснованы. Подробный обзор современного состояния рассматриваемого вопроса, приведенный во введении к диссертации, дает ясное обоснование выбора автором целей исследования, которые сформулированы в виде конкретных научных задач. Постановка этих задач выполнена в четких формулировках на основании теории статистической радиофизики. Для решения задач использованы стандартные методы матричной алгебры, методы радиофизических измерений, а также методы математического анализа. Теоретическое рассмотрение задач проведено достаточно подробно, что убедительно обосновывает полученные результаты, сформулированные в конкретном виде и отличающиеся физической ясностью.

Обоснованность ряда теоретических результатов подтверждена экспериментами. Автором применены хорошо известные и достоверные экспериментальные методы, такие как спектральный анализ и статистический анализ. Экспериментальные данные хорошо согласуются с теорией, представленной в диссертации. Обоснованность практических рекомендаций, полученных в работе, подтверждается наличием патента на новую антеннную систему для телеметрического локационного комплекса, а также набором сви-

дательств о государственной регистрации программ для ЭВМ на различные методы обработки сигналов, предложенные в диссертации.

Все основные результаты диссертации докладывались на международных, всероссийских и региональных конференциях, что подтверждает достаточную аprobацию работы. Публикация результатов диссертации в журнале «Известия вузов. Радиофизика», ведущем профильном издании в нашей стране, свидетельствует о положительной оценке результатов диссертации независимыми экспертами-рецензентами.

Сравнительный анализ теоретических и экспериментальных данных, представленных в диссертации, а также согласованность результатов с теорией и экспериментами, представленными в литературе, подтверждает достоверность положений и выводов.

Новизна положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Полученные автором научные результаты, положения, выводы и рекомендации обладают научной новизной. Ниже приведен краткий обзор новизны результатов.

В первой главе предложен метод регуляризации корреляционной матрицы входных сигналов антенной решетки в условиях короткой выборки для подавления узкополосных помех в импульсно-доплеровских активных радиолокационных системах с многолучевыми диаграммами направленности. Приведены результаты натурного эксперимента по подавлению помехи с одновременным приемом отраженного от цели полезного сигнала.

Во второй главе развита теория помехоподавления широкополосных помех в адаптивных антенных решетках и многоканальных автокомпенсаторах. Получены аналитические выражения для расчета весовых векторов для диаграммообразования в пассивных и активных локационных системах для случая малого времени адаптации к сигнально-помеховой обстановке. От-

дельно рассмотрены случаи воздействия непрерывных широкополосных помех и импульсных широкополосных помех.

В третьей главе предложен метод двумерной пеленгации, обладающий функцией сверхразрешения двух целей, для пассивных локационных комплексов приема телеметрической информации в условиях отсутствия и наличия узкополосных помех. Проведена серия натурных экспериментов на опытных образцах изделий. В результате обработки результатов эксперимента получены значения параметров регуляризации корреляционной матрицы при наличии и отсутствии помех, которые позволяют обеспечить малое время адаптации к помеховой обстановке и необходимую точность измерений пеленга.

В четвертой главе предложены методы формирования виртуальных приемных каналов для одномерных и двумерных антенных решеток автомобильных ММО-радаров, которые позволяют увеличить точность пеленгации автомобилей без увеличения габаритов антенных решеток. Экспериментально подтверждена возможность сверхразрешения по азимуту двух автомобилей с помощью ММО радара для случая короткой выборки.

В пятой главе предложена структура автомобильного радиолокатора и предложены два метода обработки сигналов, позволяющие локатору одновременно обеспечить необходимые вероятность ложной тревоги и вероятность пропуска набора движущихся целей, случайно расположенных на дистанции его действия. Методы имеют разную вычислительную сложность и позволяют проектировщикам выбирать аппаратных решений между доступной элементной базой и скоростью обработки информации.

Формулировка положений, выводов и рекомендаций, приведенных в диссертации, в полной мере отражает их новизну.

Теоретическая и практическая значимость

Теоретическая значимость результатов диссертации заключается в обосновании возможности применение единого математического аппарата с низкой вычислительной сложностью для обработки сигналов в цифровых антенных решетках для помехоподавления как в случае узкополосных помех, так и широкополосных помех. Теория корреляционных матриц входного процесса в цифровых антенных решетках является универсальной. В диссертации развита эта теория как для случая пеленгации полезных источников, так и для подавления помех различных типов. Предложенный в диссертационной работе подход к теоретическому описанию методов регуляризации корреляционной матрицы антенных решёток как пассивных, так и активных локационных систем при малом времени адаптации является значимым вкладом в дальнейшее развитие теоретической локации.

Практическая значимость работы заключается в следующем. Результаты диссертации могут непосредственно применяться для проектирования автомобильных радиолокаторов для помощи водителю в сложных дорожных ситуациях и предотвращения столкновений транспорта. Данная отечественная отрасль промышленности находится в стадии становления. Применение предложенных автором диссертации методов цифровой обработки сигналов поможет повысить их эффективность. Решение по оптимизации формы диаграммы направленности плоских цифровых антенных решеток пассивных телеметрических комплексов имеет практическое значение для разработки высокоскоростных систем приема телеметрической информации с автоматическим сопровождением источников этой информации в условиях воздействия помех.

Замечания по диссертации

По результатам рассмотрения диссертации имеется ряд замечаний.

1. В главе 1 на рис. 1.10а изображены диаграммы направленности антенной решетки для разных методов ее формирования. Не ясно по какой причине ширина главных лучей этих диаграмм направленности значительно отличается? Почему для прямого обращения корреляционной матрицы резко увеличивается уровень боковых лепестков?
2. В главе 2 в разделе 2.1 в численном эксперименте используется модель широкополосной помехи. Можно ли было использовать другую модель? Почему была выбрана именно эта?
3. В главе 3 в разделе 3.3 утверждается, что алгоритм, блок-схема которого изображена на рис. 3.3.4, может быть применен практике. Не ясно, где эта область применения данного алгоритма.
4. В главе 4 в разделе 4.3 на рис. 4.14а в численном эксперименте рассматривается определенная топология расположения излучателей МИМО радара. Не ясно, чем обусловлен выбор такой топологии?
5. В главе 5 в разделе 5.1.2 предлагается нестандартный алгоритм формирования порога обнаружения целей с уменьшенной вычислительной сложностью. Не ясно как на практике предлагается измерять главный параметр этого алгоритма.

Имеющиеся замечания не влияют на положительную оценку диссертации и не снижают ее новизну, степень обоснованности и достоверности научных положений, теоретическую и практическую значимость.

Заключение

Диссертация Семенова Виталия Юрьевича является самостоятельной, законченной научно-квалифицированной работой, в которой решена научная проблема создания группы методов цифровой обработки сигналов в локационных системах с малым временем адаптации к сигнально-помеховой обстановке, имеющая важное хозяйственное значение. Автореферат полностью

отражает содержание диссертационной работы, результаты которой опубликованы в необходимом количестве статей.

По актуальности темы, объему исследований, целостности работы, научной новизне, теоретической и практической значимости диссертация удовлетворяет требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ «842 от 24 сентября 2013 года (редакция от 16.10.2024), предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор, Семенов Виталий Юрьевич, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.4. – Радиофизика.

Официальный оппонент:
Джиган Виктор Иванович,
доктор технических наук
по специальности 05.12.04 –

Радиотехника, в том числе системы
и устройства телевидения

место работы: Федеральное государственное бюджетное учреждение
Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»

должность: Главный научный сотрудник

телефон: +7 (499) 729-93-23

адрес: 124365 Россия, г. Москва,
г. Зеленоград, ул. Советская д.3

адрес эл. почты: djigan@yandex.ru,
victordjigan@gmail.com

(подпись)

(расшифровка подписи)

Дата 27.01.2026

печать

Подпись Джигана В.И. заверяю,
Заместитель директора –
главный научный секретарь



Алексеева О.А.