

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Артюхина Игоря Владимировича «Синтез алгоритмов пространственной обработки сигналов в современных системах автомобильных ММО радаров», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4 – Радиофизика

Тема диссертационной работы И.В. Артюхина лежит в рамках актуального направления в радиофизике и радиолокации, связанного с разработкой и исследованием методов и алгоритмов обработки сигналов в современных системах автомобильных ММО (Multiple Input – Multiple Output) радаров миллиметрового диапазона длин волн. В диссертационной работе рассматриваются две основные задачи: (1) разработка алгоритма подавления помех в одиночном радаре; (2) разработка алгоритмов сверхразрешения близких целей в пространстве для распределенной системы радаров, расположенных на одном автомобиле. Актуальность темы диссертации подтверждается большим числом публикаций в научно-технических журналах и активной работой компаний-разработчиков в области разработки и применения ММО радаров. Прикладная ценность исследований таких систем обусловлена активным внедрением систем безопасности и помощи водителю, включающих различные устройства, такие как лидары, видеокамеры, радары в область интеллектуальных транспортных систем и беспилотных автомобилей.

Единство и цельность диссертационной работы обусловлены поставленной задачей по разработке методов обработки сигналов в современных системах автомобильных ММО радаров. Автором выполнен большой объем работ, связанный с теоретическим анализом алгоритмов подавления помех и сверхразрешающих алгоритмов с малой вычислительной сложностью в распределенных системах радаров, а также обработкой экспериментальных данных в некогерентной распределенной системе радаров. Автор продемонстрировал достаточно высокую квалификацию в 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 помех применительно к автомобильным ММО радарам миллиметрового диапазона длин волн, и сверхразрешающих алгоритмов близких целей (расположенных в пределах ширины луча антенной решетки) в распределенной системе радаров для случая короткой выборки входного

процесса. Тема диссертации актуальна и соответствует специальности 1.3.4 – Радиофизика. Основные результаты работы следующие.

В первой главе предложен алгоритм подавления помех, основанный на комбинации адаптивного проекционного метода формирования нулей в диаграмме направленности антенной решетки и метода вычитания помех в частотной области. Рассматривается ситуация, когда цель и помеха находятся на одном азимуте. Под помехой подразумевается сигнал радара, расположенного на автомобиле-цели, при этом параметры полезного и помехового сигналов считаются одинаковыми (ЛЧМ сигналы с одинаковой полосой и длительностью). Приводятся результаты численного моделирования, показывающие эффективность предложенного алгоритма подавления помех в ситуации, когда имеется пять автомобилей-целей, один из которых является также источником помехи.

Во второй главе разработан сверхразрешающий алгоритм оценки углов прихода сигналов в некогерентной распределенной системе автомобильных радаров в случае короткой выборки входного процесса. Предложенный алгоритм имеет выигрыш в использовании вычислительных ресурсов по сравнению с другими существующими алгоритмами. Показана высокая эффективность алгоритма оценки углов прихода сигналов для некогерентной распределенной системы автомобильных радаров на основе экспериментальных данных и численного моделирования. Предложенный алгоритм корректно распознает положение целей в рассматриваемых сценариях эксперимента. Сравнительное численное моделирование показало, что предложенный алгоритм выигрывает в основных метриках по сравнению с одиночным радаром.

В третьей главе исследуется вычислительно-эффективный двумерный алгоритм оценки углов прихода сигналов в азимутальной и угломестной плоскостях для распределенной системы бистатических когерентных ММО радаров в случае короткой выборки входного процесса. Предложенный алгоритм является комбинацией двух оригинальных методов: метода компенсации фаз сигналов и метода последовательной оценки углов прихода сигналов (на первом шаге - в азимутальной плоскости, на втором - в вертикальной). Последовательный метод оценки углов прихода обеспечивает выигрыш в использовании вычислительных ресурсов по сравнению с полным двумерным методом Кейпона. Показана высокая эффективность алгоритма по оценке углов прихода сигналов близкорасположенных целей.

Все основные результаты работы являются новыми. К наиболее интересным можно отнести алгоритмы с малой вычислительной сложностью для распределенной системы радаров, которые могут быть использованы в ММО радаров в режиме реального

времени. Результаты диссертации имеют научную значимость, связанную с необходимостью разработки новых методов пространственной обработки сигналов, учитывающих общую геометрию распределенной системы, способы объединения сигналов отдельных радаров и методы подавления помех в этих радарах. Рассматриваемые в рамках диссертации вопросы были поставлены в ходе научно-исследовательских проектов, посвященных разработке алгоритмов обработки сигналов для автомобильных радаров миллиметрового диапазона длин волн, инициированных производителем данного продукта. В связи с этим, представленные в данной работе результаты и разработанные алгоритмы имеют непосредственную практическую значимость. Кроме того, полученные результаты могут быть применены и в иных областях, таких как радионавигация, радиолокация и радиосвязь, где возникают задачи оценки угловых координат и подавления помех.

В качестве замечаний по диссертационной работе отмечу следующее.

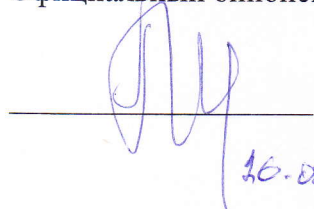
1. Замечание по терминологии: в работе встречается термин «система некогерентных распределенных автомобильных радаров». Термин «некогерентность» в диссертационной работе относится к системе (способу объединения сигналов с разных радаров), а не к отдельному радару. Каждый из радаров по отдельности не является распределённым, это прилагательное также относится к системе. Слово-сочетание «некогерентный радар» может предполагать, что зондирующий импульс принимается некогерентно. Возможно, лучше писать «некогерентная распределённая система радаров».
2. В автореферате недостаточно полно представлено описание сценария эксперимента и исходных данных.
3. В главе 3 при рассмотрении результатов численного моделирования наблюдаются флуктуации оценок СКО при значениях ОСШ 20 – 25 дБ (сценарий 2, рис. 3.11b), однако в диссертации отсутствуют пояснения причины таких флуктуаций.

Все эти замечания не принципиальны и не снижают оценку диссертационной работы И.В. Артюхина, которая содержит решение научных задач, имеющих существенное значение для развития радиофизики и радиолокации. Работа хорошо оформлена и изложена грамотным научным языком, автореферат соответствует содержанию диссертации. В заключение еще раз отмечу добротный научный уровень работы в целом, актуальность тематики, определяющий личный вклад автора, внутреннее единство и обоснованность выводов работы, достоверность, новизну, научную значимость и практическую ценность результатов. По результатам диссертации имеется достаточное чис-

ло публикаций в журналах, рекомендованных ВАК – 5 статей. Кроме того, они были представлены на международных научных конференциях – 5 докладов.

Все вышеотмеченное позволяет заключить, что диссертационная работа И.В. Артюхина «Синтез алгоритмов пространственной обработки сигналов в современных системах автомобильных ММО радаров» удовлетворяет требованиям пп. 9-11, 13 и 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 (ред. от 16.10.2024 г.), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Артюхин Игорь Владимирович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4 – Радиофизика.

Официальный оппонент



Кашин Александр Васильевич, доктор технических наук,^{*} профессор, научный руководитель филиала Федерального государственного унитарного предприятия «Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики» «Научно-исследовательский институт измерительных систем им. Ю.Е. Седакова»,
603952, Россия, г. Нижний Новгород, Бокс № 486,
тел. (831)466-16-40, e-mail: aKashin@niiis.nnov.ru

* д.т.н. (Специальность 05.12.07 – Антенны, СВЧ устройства и их технологии)

Выражаю свое согласие на обработку моих персональных данных, связанных с защитой диссертации.

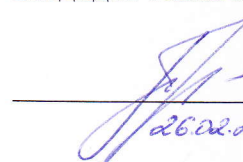
Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики», Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом», 607188, Нижегородская обл., г. Саров, проспект Мира, д.37

Подпись Кашина А.В. заверяю:

Ученый секретарь филиала РФЯЦ-ВНИИЭФ

«НИИИС им. Ю.Е. Седакова»

кандидат технических наук



Г.В.Труфанова