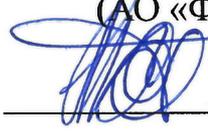


«УТВЕРЖДАЮ»  
Генеральный директор  
Акционерного общества  
«Федеральный Научно-Производственный Центр  
«Нижегородский Научно-Исследовательский  
Институт Радиотехники»  
(АО «ФНИЦ «ННИИРТ»)

  
**В.Е. Тюлин**  
«06» \_\_\_\_\_ 2026 г.  


## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

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

### 1. Актуальность темы диссертации

Сложная сигнально-помеховая обстановка сопровождает работу различных информационных радиосистем, таких как радиолокационные или радиосвязные. Помеховый фон может создаваться как дискретными по частоте помехами, сосредоточенными в узкой полосе частот, так и широкополосными, занимающими большую часть полосы приемо-передающего тракта. Воздействие комбинации такого типа помех является сложной проблемой для измерения выходных параметров радиосистемы. В случае радиолокационных комплексов измеряемыми параметрами в первую очередь являются количество целей и их координаты.

Для подавления помех в локационных системах достаточно давно применяют фазированные антенные решетки (ФАР). В зависимости от поставленной задачи разрабатываются и применяются различные методы и технические средства подавления помех. В большинстве случаев формирование диаграммы направленности производится с использованием цифровой обработки сигналов.

Указанный подход требует, как правило, применения многоканального радиочастотного тракта радиолокационной станции. В ряде важных

практических задач с использованием помехоподавления целесообразно применение цифровых адаптивных антенных решеток. Их применение позволяет получить более высокие результаты. Поэтому развитие и исследование путей решения научных и технических задач, направленных на уменьшение влияния помех в различных радиосистемах, в первую очередь радиолокационных, является актуальной проблемой.

Именно такие задачи применительно к узкополосным и широкополосным помехам ставятся и решаются в диссертационной работе Семенова Виталия Юрьевича.

В диссертации последовательно и на достаточно высоком научном уровне решаются задачи борьбы с помехами для активных радиолокационных систем и для пассивных телеметрических комплексов. В работе рассматриваются и сравниваются классические методы обработки сигналов с целью помехоподавления и, в том числе, методы на базе разложения весового вектора антенной решетки по степенным векторам регуляризированной корреляционной матрицы помех.

В диссертации предлагается новый алгоритм формирования порога обнаружения с уменьшенной вычислительной сложностью и обосновываются ограничения на применение данного алгоритма.

В работе рассмотрена проблема увеличения точности двумерной пеленгации в активных и пассивных радиолокационных системах в различной сигнально-помеховой обстановке. Ставится и решается задача разработки метода пеленгации по сверхразрешению двух источников телеметрической информации с помощью цифровой адаптивной антенной решетки радиотелеметрического комплекса. Разработан и экспериментально подтверждён метод регуляризации сигнальной корреляционной матрицы за счет автоматического расчета ее минимального многочлена.

В диссертации обсуждается проблема практического применения активных ММО-радаров для одномерной и двумерной пеленгации автотранспортных средств с целью помощи водителю в сложной дорожной обстановке. Предлагается метод пеленгации, обладающий свойством сверхразрешения.

Таким образом, тема диссертации является актуальной для теории и практики подавления помех и пеленгации целей в локационных системах различного назначения.

## 2. Структура и содержание диссертации

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы и трех приложений. Структура работы логична и последовательна, количество пояснений, математических выкладок и графического материала достаточно для понимания и оценки представленных результатов. Ниже приведен краткий анализ содержания работы по главам.

В первой главе предлагается и подробно рассматривается метод расчета весового вектора для однолучевой и многолучевой адаптивной антенной решетки в целях подавления активных узкополосных помех. Его основной особенностью и достоинством являются малое время адаптации к помеховой обстановке благодаря предложенному алгоритму регуляризации корреляционной матрицы помех, оцененной по короткой выборке входного процесса, т.е. с использованием количества отсчетов во времени меньшим числа цифровых антенных каналов. Важно отметить, что алгоритм регуляризации не требует априорных знаний каких-либо параметров в том числе статистических свойств узкополосных помех. Высокая эффективность метода подтверждается приведенными экспериментальными результатами.

Во второй главе развивается теория адаптивного подавления широкополосных помех в цифровых антенных решетках и многоканальных автокомпенсаторах. Рассматриваются как непрерывные широкополосные помехи, так и импульсные помехи. Предлагаются критерии для автоматической регуляризации выборочной корреляционной матрицы помех. Разработанные методы формируют весовые матрицы за малые интервалы времени, так как для оценки корреляционной матрицы используется короткая выборка.

Третья глава посвящена методам пеленгации в пассивных локационных системах с автоматическим сопровождением источников телеметрической информации в различных условиях сигнально-помеховой обстановки. Предложен метод, обладающий функцией сверхразрешения как по азимуту, так и по углу места. Метод позволяет ускоренно оценить пеленги полезных источников за счет предложенной процедуры регуляризации сигнальной корреляционной матрицы антенной решетки. Приведены результаты натурных экспериментов, подтверждающие эффективность предложенного метода.

В четвертой главе рассмотрена проблема пеленгации источников сигналов в автомобильных радарх. Основная особенность главы – это

применение технологии ММО для увеличения апертуры антенных решеток и, как следствие, увеличения точности пеленгации как по азимуту, так и по углу места. Предлагаются два метода для формирования виртуальной приемной антенной решетки для одномерной и двумерной пеленгации, обладающие свойством сверхразрешения. Проведенный натурный эксперимент для одномерной пеленгации в азимутальной плоскости подтвердил предложенную идею.

Пятая глава посвящена автомобильным радарам, не требующим применения технологии ММО. В ней предлагаются методы одновременного обнаружения набора автомобилей в условиях воздействия активных помех, т.е. в сложной сигнально-помеховой обстановке, имеющей место на практике.

### **3. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Диссертация содержит описание современного состояния актуальной области разработки методов пространственно-временной цифровой обработки сигналов в локационных системах различного назначения. Проанализированы направления, требующие развития теоретических подходов. Обсуждаются успехи в реализации систем помехоподавления и пеленгации полезных источников. Поэтому выбор объектов исследований – обнаружителей и пеленгаторов целей, а также устройств подавления помех – является обоснованным. Выбранная методика аналитического исследования основана на положениях классической теории статистической радиофизики.

Целью экспериментов является возможность получения прямого подтверждения теоретических результатов, представленных в работе.

Таким образом, научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, имеют достаточную степень обоснованности.

### **4. Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций**

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается применением современных физических методов и моделей, последовательным изложением и доказательным характером использованных теоретических методов с детальным описанием промежуточных и окончательных результатов. Достоверность обосновывается расчетами, оценками корректности полученных результатов и данными экспериментов, постановка которых предназначена для обоснования выводов теории.

Результаты экспериментов хорошо согласуются с известными в литературе результатами и с теоретическими выводами. Следует отметить достаточную апробацию работы в экспертном сообществе при обсуждении на конференциях и публикациях в ведущих научных изданиях со строгой процедурой рецензирования.

## **5. Новизна положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Новизна научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается следующим.

Предложен метод расчета весового вектора многолучевой цифровой адаптивной антенной решетки для подавления узкополосных помех, когда при определении корреляционной матрицы помехи используется количество отсчетов помехи меньше, чем число антенных каналов.

Экспериментально подтверждена предложенная процедура регуляризации помеховой корреляционной матрицы за счет поиска максимума выходного отношения сигнал-шум.

Развита теория подавления непрерывных и импульсных широкополосных помех за счет разложения весового вектора антенной решетки или автокомпенсатора по степенным векторам регуляризированной корреляционной матрицы широкополосных помех, вычисленной по малому числу выборок.

Предложена система двумерной пеленгации с малым временем отклика в пассивном локационном комплексе для приема телеметрической информации от пеленгуемых источников.

Впервые экспериментально подтверждена процедура регуляризации сигнальной корреляционной матрицы за счет расчета коэффициентов ее минимального многочлена, необходимого для уменьшения времени пеленгации и обеспечения свойств сверхразрешения.

Впервые предложен метод формирования виртуальных приемных каналов в одномерных антенных решетках ММО-радаров при малом числе передающих антенных каналов, не превышающем трех. Метод экспериментально подтвержден.

## **6. Значимость результатов, полученных автором диссертации**

Результаты, полученные в диссертации, имеют значимость для такого направления науки, как радиофизика в части предложенных теоретически и

проверенных экспериментально процедур регуляризации помеховых и сигнальных корреляционных матриц антенных решеток. Разработанные методы регуляризации матриц при использовании короткой выборки для ее измерения с последующей обработкой, связанной с расчетом минимального многочлена и степенных векторов, позволяют сократить время адаптации к различной сигнально-помеховой обстановке для существующих и перспективных локационных систем.

Теоретическую значимость имеет развитая автором диссертации теория подавления широкополосных помех импульсного и непрерывного типов на основе разложения весовых векторов по степенным векторам помеховых корреляционных матриц. Дано теоретическое обоснование принципа регуляризации таких матриц и получены аналитические формулы для весовых векторов адаптивных антенных решеток.

Практическая значимость диссертации связана с разработкой структуры вычислительных устройств для обнаружителей целей и пеленгаторов этих целей в активных и телеметрических локационных системах, а также алгоритмов обработки сигналов для них.

Результаты исследований методов формирования виртуальных приемных каналов антенных решеток в автомобильных ММО-радарх имеют практическое значение для проектирования перспективных систем мобильных V2V (vehicle-to-vehicle) коммуникаций между пилотируемым и беспилотным транспортом.

Исходя из вышеизложенного, можно обоснованно заключить, что диссертация имеет значимость для такой области науки как радиофизика в части развития методов и технических средств, предназначенных для помехоподавления и пеленгации полезных источников в радиолокационных системах.

## **7. Рекомендации по использованию результатов и выводов, приведенных в диссертации**

Результаты и выводы, приведенные в диссертации, рекомендуются для следующего использования.

1. Проектирование алгоритмов обработки радиолокационных сигналов и разработки программного обеспечения специальных вычислителей для наземных радиолокационных станций кругового обзора пространства.
2. Разработка комплексов высокоскоростного приема и регистрации телеметрической информации.

3. Проектирование систем помощи водителю в трудных дорожно-транспортных ситуациях.
4. Создание систем обнаружения, автоматического измерения числа целей и числа помех в радиоэфире, которые могут быть полезны региональным радиочастотным центрам.

Результаты, полученные в диссертации, могут представлять интерес и быть использованы в таких организациях как ПАО «НПО «Алмаз» имени академика А.А. Расплетина, АО «ПКК «Миландр», АО Научно-производственное объединение дальней радиолокации имени академика А.Л. Минца, АО «Научно-производственное объединение измерительной техники», ПАО «Радиофизика», АО «ФНПЦ «Нижегородский научно-исследовательский институт радиотехники».

### **8. Научная и практическая ценность диссертации**

Практическая ценность результатов диссертации состоит в том, что предложенные в ней методы расчета весовых векторов многолучевых адаптивных антенных решеток за счет их разложения по степенным векторам помеховой корреляционной матрицы, измеренной со помощью короткой выборки, и методы расчета коэффициентов минимального многочлена сигнальной корреляционной матрицы позволяют повысить качественные показатели функционирования антенных решеток в условиях сложной сигнально-помеховой обстановки. Это происходит за счет адаптивного управления их параметрами, что позволяет снизить уровень искажения выходного сигнала и достичь увеличения отношения сигнал-шум на выходе решетки.

Научная ценность диссертационного исследования заключается в том, что полученные теоретические и экспериментальные результаты представляют интерес для ряда научно-исследовательских учреждений, занимающихся разработкой адаптивных антенных решеток для радиолокационных систем.

### **9. Замечания по диссертации**

Несмотря на высокий научный уровень диссертации в целом в ней имеются некоторые недостатки и технические погрешности.

1. В главе 1 не указано по каким «элементарным векторам» раскладывается весовой вектор антенной решетки в предложенном методе на базе степенных векторов корреляционной матрицы помех?

2. В главе 3 не указано по каким «элементарным матрицам» раскладывается проектор на шумовое подпространство в предложенном методе на основе минимального многочлена корреляционной матрицы полезных сигналов?
3. Не показано, какой конкретно критерий использовался для определения угловой зоны сверхразрешения двух целей? И почему именно такой критерий? В частности, речь идет об азимутальном сверхразрешении в третьей главе в разделе 3.2 на рисунках 3.15а и 3.17а?
4. Не объяснено, что имеется ввиду под «коррелированностью целей» при их пеленгации в ММО-радарх, для которых предлагаются методы формирования виртуальных приемных каналов в главе 4?
5. Не ясно, что такое «ближние и дальние цели» в радарх ближнего радиуса действия, о которых идет речь в главе 5 диссертации?

Однако перечисленные выше недостатки не влияют на высокий научный уровень диссертационной работы в целом и не снижают ее теоретической и практической значимости.

## **10. Заключение**

Автореферат соответствует содержанию диссертационной работы и полностью раскрывает ее основные результаты, выводы и рекомендации. Результаты опубликованы в шестидесяти работах, среди которых один патент на изобретение и восемь свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ. Девять работ выполнены без соавторов.

Диссертация Семенова Виталия Юрьевича на тему «Методы пространственно-временной цифровой обработки сигналов в локационных системах для адаптивного подавления помех, обнаружения и пеленгации целей» является самостоятельной, завершенной научно-квалификационной работой, обладающей научной и практической значимостью, в которой изложены новые научно обоснованные теоретические и технические решения, являющиеся существенным вкладом в борьбу с помехами и в улучшение точности пеленгации полезных источников в активных и пассивных радиолокационных системах.

Диссертационная работа соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013 (редакция от 16.10.2024), включая п.9

данного Положения, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор Семенов Виталий Юрьевич заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.4. – Радиопизика.

Отзыв и диссертация были обсуждены и одобрены на заседании группы Главного конструктора по направлению 6 (ГГКН-6) 02.02.2026.

  
(подпись)

Бляхман  
(расшифровка подписи)

Отзыв составил:

**Бляхман Александр Борисович**,  
доктор технических наук  
по специальности 05.12.14 – Радиолокация  
и радионавигация,  
Главный конструктор по направлению –  
начальник ГГКН-6  
Акционерного Общества «Федеральный  
Научно-Производственный Центр  
«Нижегородский Научно-  
Исследовательский Институт  
Радиотехники»

телефон: +7 (831) 465 63 79  
адрес: 603950, Нижегородская область, г.  
Нижний Новгород, ул. Шапошникова, д. 5  
адрес эл. почты: blyakhman\_ab @nniirt.ru

Сведения о ведущей организации:

Название: Акционерное Общество «Федеральный Научно-Производственный Центр  
«Нижегородский Научно-Исследовательский Институт Радиотехники»

Почтовый адрес: 603950, Нижегородская область, г. Нижний Новгород,  
ул. Шапошникова, д. 5

Телефон: +7 (831) 465 63 79

Адрес эл. почты: nniirt@nniirt.ru

Адрес официального сайта в сети «Интернет»: <https://www.nniirt.ru/>

Дата 06.03.2026

Подпись А.Б. Бляхмана заверяю.





печать