



ПУБЛИЧНОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«РАДИОФИЗИКА»

125363, РФ, г. Москва, ул. Героев-Панфиловцев, д. 10
Тел.: (495) 272-48-01 (многокан.), (499) 492-55-70, факс: (495) 272-48-20
E-mail: mail@radiofizika.ru, www.radiofizika.ru
ИНН 7733022671 КПП 773301001 ОКВЭД 72.19



№ _____
На № _____ от _____

Экз. № _____

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор,
кандидат технических наук,
доцент



Б.А. Левитан

« 19 » 7 2021 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Зиминой Светланы Валерьевны «Флуктуации в многоканальных адаптивных системах», представленную на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.03 – Радиофизика.

Многоканальные адаптивные системы - адаптивные антенные решётки (ААР) и искусственные нейронные сети (ИНС) важнейшее направление современной радиолокации. Они позволяют выделять полезный сигнал на фоне помех, вести первичную и вторичную обработку радиолокационной информации. В процессе работы таких систем неизбежно возникают флуктуации автоматически настраиваемых параметров приёмных каналов (флуктуации весовых коэффициентов), которые ухудшают характеристики системы. Современные радиолокационные комплексы требуют высокой

точности и скорости работы адаптивных систем. По этой причине проблема повышения качества работы таких систем является **актуальной**.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций.

В диссертационной работе Зиминой С.В. представлены разработанные автором методы анализа статистических характеристик ААР и ИНС с учётом флуктуаций весовых коэффициентов. Эти методы были разработаны в наиболее общем предположении негауссовской статистической зависимости между вектором входных сигналов и весовым вектором. Это позволило учесть эффекты, наиболее актуальные в практике практического применения адаптивных систем – эффект рассогласования и эффект «перекомпенсации».

В **первой** и **второй** главах представлены методы анализа адаптивных антенных решёток, не содержащих нелинейную функцию в цепи корреляционной обратной связи и имеющих алгоритмы настройки, линейные по весовому вектору. Методы, предложенные в диссертации, разработаны на основе теории возмущений. В качестве малого параметра был выбран коэффициент адаптации.

Автором показано, что учёт флуктуаций весовых коэффициентов объясняет необходимость учёта дополнительных слагаемых при описании характеристик адаптивных антенных решёток. Это, в свою очередь, определяет отрицательное влияние флуктуаций на характеристики выделения полезного сигнала на фоне помех.

В зависимости от величины коэффициента автокорреляции между отсчётами входных сигналов может наблюдаться как эффект рассогласования (наличие остаточной мощности помехи, связанной с флуктуациями), так и эффект «перекомпенсации» (подавление полезного сигнала в адаптивной антенне из-за флуктуаций). Методы, разработанные в диссертации, позволили теоретически описать оба этих эффекта. В более частном предположении статистической независимости между весовым

вектором и вектором входных сигналов прежним авторам удавалось описать только эффект рассогласования.

В **третьей, четвёртой и пятой** главах представлены методы анализа ААР с нелинейными адаптивными алгоритмами с учётом флуктуаций весовых коэффициентов. В третьей главе рассмотрен алгоритм Хэбба, в который весовой вектор входит в третьей степени. В четвёртой и пятой главах адаптивные антенные решётки содержат нелинейную функцию в цепи корреляционной обратной связи, что делает алгоритмы адаптации также нелинейными.

Для разработки методов учёта флуктуаций в таких системах также использовался математический аппарат теории возмущений. При этом в диссертации было введено предположение, что нелинейная функция должна быть N раз дифференцируемой, чтобы её можно было разложить в ряд Вольтерра.

В четвёртой и пятой главах автор дополнительно рассчитал поправки второго порядка к характеристикам ААР и численно их оценил. Исследование показало, что порядок этих поправок мал по сравнению с борновским приближением и позволяет не учитывать их при дальнейшем анализе.

Особо необходимо отметить влияние флуктуаций весовых коэффициентов на диаграмму направленности адаптивных антенных решёток. Автором показано, что флуктуации приводят к «замыванию» нулей диаграммы направленности. Это не позволяет полностью подавить приходящие на антенну помехи.

В шестой главе приведено обобщение методов учёта флуктуаций весовых коэффициентов для искусственных нейронных сетей, которые настраивались по исследованным в работе алгоритмам (дискретному градиентному и быстрому рекуррентному алгоритмам с ограничениями и алгоритму Хэбба). Необходимо отметить, что два первых алгоритма являются классическими алгоритмами настройки адаптивных антенных

решёток. Автор обобщил данные алгоритмы для настройки искусственной нейронной сети и показал, что при одной и той же помеховой обстановке, подаваемой на каждый искусственный нейрон входного слоя сети, флуктуации во втором и последующих слоях ИНС отсутствуют. При этом в искусственной нейронной сети с алгоритмом Хэбба флуктуации присутствуют в каждом слое искусственной нейронной сети, и их влияние на статистические характеристики выделяемого сетью сигнала все более и более возрастает. По этой причине для искусственных нейронных сетей с большим числом слоёв и алгоритмом Хэбба компенсация искажений, вносимых флуктуациями, является актуальной задачей.

Новизна и достоверность полученных результатов. Научная новизна результатов подтверждается приоритетными публикациями в открытой печати, включая рецензируемые журналы, входящие в Перечень ВАК, а также тезисами докладов, сделанных на авторитетных международных научно-технических конференциях.

Достоверность результатов работы обеспечивается корректным применением широко известных расчетных методов статистической радиофизики, теории адаптивных систем управления, линейной алгебры и теории матриц, теории возмущений при строгой постановке задач с применением известных пакетов, разработанных на основе метода конечных элементов и метода конечных разностей во временной области и положительно зарекомендовавших себя при численном анализе различных адаптивных антенных систем. Достоверность также подтверждается путем сравнения результатов, полученных тремя разными методами, указанными выше.

Важным достоинством выполненных автором исследований является то, что приведённые в диссертации теоретические выводы подтверждаются большим объёмом компьютерного моделирования, обеспечивающим достоверность полученных выводов.

Практическая значимость работы. Практическая ценность результатов диссертационного исследования состоит в том, что разработанные в диссертации методы анализа статистических характеристик адаптивных антенных решёток и искусственных нейронных сетей позволяют повысить качественные показатели их функционирования в условиях сложной помеховой обстановки, поскольку оптимальное управление параметрами функционирования указанных адаптивных систем позволяет снизить уровень искажения выходного сигнала и добиться повышения отношения сигнал/шум на выходе адаптивных антенных решеток и искусственных нейронных сетей.

Полученные в диссертации экспериментальные и теоретические результаты представляют интерес для ряда научно-исследовательских учреждений, занимающихся разработкой адаптивных антенных решёток.

Публикации и апробация. Результаты работы достаточно полно представлены в одной коллективной монографии, 30 статьях в журналах, включенных в Список ведущих научных журналов и изданий, утвержденный ВАК РФ, (в том числе 9 публикаций в журналах, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования Scopus и Web of Science), одной статье, опубликованной в журнале, зарегистрированном в РИНЦ, а также в 34 тезисах докладов и трудах научно-технических конференций.

Результаты, полученные в диссертации, могут представлять интерес и быть использованы в таких организациях как АО «НПК «НИИДАР», АО «РТИ им. ак. А.Л. Минца», ПАО «Радиофизика», АО «ВНИИРТ», АО Концерн «Вега», ЛЭМЗ, АО НИИП им. В.В. Тихомирова и др.

В целом диссертационная работа написана грамотным научным языком, а все научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, представляются обоснованными.

Полученные в диссертации результаты свидетельствуют о высокой квалификации автора. Однако по материалам работы можно сделать некоторые замечания:

1. В диссертации приводится анализ с учётом флуктуаций весового вектора таких характеристик адаптивных антенных решёток, как мощность и спектральная плотность мощности выходного сигнала, отдельные характеристики диаграммы направленности. Было бы целесообразным проанализировать такие характеристики, актуальные для задач радиолокации, как ширина главного луча диаграммы направленности, уровень боковых лепестков и пр.

2. Актуальным развитием выполненных исследований может быть анализ ААР с учётом флуктуаций при нестационарных сигналах и помехах.

Отмеченные замечания не дают оснований сомневаться в высокой оценке диссертационной работы Зиминой С.В.

Представленный в диссертации комплекс исследований существенно расширяет аппарат анализа реальных адаптивных антенных решёток.

Работы, опубликованные по теме диссертации, достаточно полно отражают её результаты.

Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Диссертационная работа представляет собой законченное научное исследование, в котором решена актуальная научная проблема, имеющая важное значение для обороноспособности страны, а ее автор, Зиминая Светлана Валерьевна, заслуживает присвоения учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.03 – Радиофизика.

Отзыв составил:
кандидат технических наук

С. А. Топчиев

Отзыв на диссертацию обсуждён и одобрен на заседании Секции №1 научно-технического совета ПАО «Радиофизика», протокол № 1-5/21 от 20.09.2021.

Учёный секретарь ПАО «Радиофизика»,
кандидат технических наук



О.Н. Смольникова