

## ОТЗЫВ

**официального оппонента на диссертацию Зиминной Светланы Валерьевны «Флуктуации в многоканальных адаптивных системах» на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.03 – Радиоп физика.**

*Актуальность темы диссертации.*

Повышение точности настройки адаптивных антенных систем при приёме сигналов в условиях сложной помеховой обстановки является актуальной проблемой в различных научно-технических областях, таких, как радиолокация и теория связи. Это связано с тем, что быстро возрастают требования к создаваемым радиолокационным комплексам. Также развиваются и совершенствуются системы мобильной связи. АФАР – актуальнейшее направление в современных радиолокации, связи и ряде других направлений радиоэлектроники. Практическое применение многоканальных адаптивных систем неизбежно сопровождается флуктуациями элементов их настройки. Именно поэтому анализ влияния флуктуаций на эффективность систем является актуальной проблемой.

В диссертационной работе Зиминной С.В. представлены разработанные автором методы расчёта статистических характеристик адаптивных антенных решёток (ААР) и искусственных нейронных сетей (ИНС) при учёте флуктуаций настраиваемых коэффициентов усиления (весовых коэффициентов) в приёмных каналах этих многоканальных адаптивных систем. Результаты исследований автора позволяют оптимизировать работу адаптивных систем по критерию «скорость настройки – точность настройки». Они дают возможность выбрать оптимальным образом параметры адаптивной системы при заданной скорости настройки, при которых влияния флуктуаций были бы минимальны.

Представленные в диссертации научные результаты являются решением указанной выше проблемы в области теории многоканальных адаптивных систем. До исследований автора чаще всего вопросы влияния флуктуаций весовых коэффициентов на характеристики адаптивных систем рассматривались при анализе сходимости того или иного нового алгоритма адаптации. В диссертационной работе разработана система учёта флуктуаций для адаптивных систем различной структуры (ААР и ИНС) и различных типов адаптивных алгоритмов (алгоритмов настройки ААР – дискретного градиентного и быстрого рекуррентного алгоритмов, и алгоритма настройки ИНС – алгоритма Хэбба).

*Научная значимость и практическая ценность.*

Результаты анализа характеристик адаптивных антенных решёток и искусственных нейронных сетей с учётом флуктуаций весовых коэффициентов составляют несомненную научную значимость данной работы. Они позволяют повысить эффективность функционирования ААР и ИНС в условиях сложной



помеховой обстановки и дают возможность повысить характеристики этих систем путём минимизации влияния флуктуаций.

*Достоверность научной работы* обеспечивается:

Обоснованными допущениями и корректным выбором ограничений, сравнимостью аналитических результатов с результатами компьютерного моделирования, большой выборкой данных (около 1 миллиона выборок), используемой для оценки характеристик в компьютерном эксперименте.

*Основные результаты работы.*

В *первой и второй главах* разработаны методы анализа с учётом флуктуаций весового вектора распространённых адаптивных антенных решёток без нелинейной функции в цепи корреляционной обратной связи, настраивающихся по градиентным алгоритмам (дискретному градиентному алгоритму – первая глава, алгоритму рекуррентного обращения выборочной оценки корреляционной матрицы входных сигналов – вторая глава).

Полученные результаты построены на основе теории возмущений. В качестве малого параметра был выбран коэффициент адаптации алгоритмов, представляющий собой величину шага на каждой итерации при настройке алгоритмов адаптации.

Получены корреляционные и спектральные характеристики выходного сигнала адаптивных антенных решёток, диаграмма направленности и потери в выходном отношении сигнал/шум, связанные с учётом флуктуаций.

В работе отмечается, что наличие флуктуаций весового вектора приводит к потерям в выходном отношении сигнал/шум ААР, а величина этих потерь зависит от схемы адаптивной системы и вида алгоритма настройки.

*Третья глава* посвящена методам анализа с учётом флуктуаций весовых коэффициентов адаптивной антенной решётки, настраивающейся по алгоритму Хэбба. Алгоритм Хэбба является классическим алгоритмом настройки искусственных нейронных сетей. Он не требует при своём функционировании поиска градиента рабочей функции.

В диссертации показано, что флуктуации весовых коэффициентов приводят к появлению «флуктуационных» частей в диаграмме направленности, коэффициенте направленного действия адаптивной антенной решётки, что искажает указанные характеристики ААР. При входных сигналах с некоррелированными отсчетами учёт флуктуаций весовых коэффициентов приводит к увеличению значений средней по мощности диаграммы направленности по сравнению с диаграммой направленности, найденной без учета флуктуаций, причём максимальное значение флуктуаций соответствует углу прихода наиболее мощного сигнала, который выделяет алгоритм Хэбба при настройке ААР.

*Четвёртая и пятая главы* описывают методы анализа с учётом флуктуаций весового вектора статистических характеристик ААР, содержащих нелинейную функцию в цепи корреляционной обратной связи и настраивающихся по



градиентным алгоритмам (дискретному градиентному – четвёртая глава, и быстрому рекуррентному – пятая глава).

Приведён сравнительный анализ потерь в выходном отношении сигнал/шум, связанных с учётом флуктуаций весового вектора. Показано, что потери максимальны в ААР без нелинейной функции в цепи корреляционной обратной связи, настраиваемой по дискретному градиентному алгоритму, и минимальны в ААР с нелинейной функцией в цепи корреляционной обратной связи с быстрым рекуррентным алгоритмом настройки. Данный вывод, представленный в диссертации, имеет большую практическую ценность и позволяет рекомендовать к использованию ААР с нелинейной функцией в цепи корреляционной обратной связи по причине меньших потерь в выходном отношении сигнал/шум, вызванных флуктуациями, и большей устойчивости таких систем.

В *шестой главе* приведены методы статистического анализа с учётом флуктуаций весовых коэффициентов характеристик искусственных нейронных сетей, настраиваемых по всем рассмотренным в диссертации алгоритмам – дискретному градиентному, быстрому рекуррентному алгоритмам и алгоритму Хэбба. Используя результаты статистического анализа, полученные с учётом флуктуаций для адаптивной антенной решётки, автор диссертационной работы приводит итеративные формулы этих же характеристик для искусственного нейрона произвольного слоя искусственной нейронной сети. Это становится возможным, поскольку ИНС, согласно своей схеме, это адаптивные антенные решётки (искусственные нейроны по другой терминологии), собранные в слои.

Показано, что влияние флуктуаций весовых коэффициентов на характеристики искусственных нейронных сетей определяется видом алгоритма настройки ИНС. Это влияние может ограничиваться только первым слоем сети (для дискретного градиентного и быстрого рекуррентного алгоритма настройки) или распространяться на все слои сети, возрастая от предыдущего слоя к последующему (для алгоритма Хэбба).

В искусственной нейронной сети, настраиваемой по алгоритму Хэбба, потери в выходном отношении сигнал / шум, вызванные флуктуациями весового вектора, присутствуют во всех слоях ИНС. В каждом последующем слое потери только нарастают, что приводит к ухудшению качества выделения полезного сигнала на фоне помех искусственной нейронной сетью, настраиваемой по алгоритму Хэбба.

Полученные в шестой главе результаты имеют высокую научную ценность и перспективы развития, поскольку в настоящее время искусственные нейронные сети, достаточно сложные многоканальные адаптивные системы, находят все большее применение. Появляются новые схемы и алгоритмы настройки ИНС. И повышение точности их функционирования актуальная задача исследований.

*Замечания диссертационной работы:*

1. Автор рассматривает при статистическом анализе первое приближение. Целесообразно далее рассмотреть второе приближение?



2. Компьютерное моделирование в диссертации было проведено для адаптивных антенных решёток и искусственных нейронных сетей с одним и тем же числом элементов, и их расположением, и для одной и той же помеховой обстановки. Отличались только алгоритмы настройки. Представляет интерес провести компьютерное моделирование для различных видов ААР и ИНС.

#### Заключение

Тем не менее, указанные замечания не снижают ценности работы и не ставят под сомнение её положительную оценку.

Автореферат верно отражает содержание диссертационной работы. В нём изложены основные результаты диссертации, степень научной новизны и практическая ценность работы.

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение.

Результаты работы представляют научную и практическую ценность. Автором решена актуальная проблема современной радиоэлектроники.

Работа удовлетворяет требованиям Положения о присуждении учёных степеней, предъявляемых к докторским диссертациям, а её автор, Зимина Светлана Валерьевна, достойна присуждения учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.03 – Радиофизика.

Проректор по научной работе и  
инновационной деятельности –  
директор Программы развития  
опорного университета, д.ф.-м.н.

А.Н.Леухин

Контактные сведения:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Марийский государственный университет»

Адрес: 424000, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, д. 1

Официальный сайт университета: <http://www.marsu.ru>

Тел.: (8362) 68-80-16

E-mail: leukhinan@list.ru

22.10.2021 г.

