

ОТЗЫВ

оппонента доктора физико-математических наук профессора Разинькова Сергея Николаевича на диссертацию Аль-Мусави Висама Мохаммедтаки М Джавада на тему «Адаптивный алгоритм обработки пространственно-временных сигналов в ММО-системе радиосвязи для базовой и мобильной станций», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13. Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения

Актуальность темы диссертационного исследования. Совершенствование технологий беспроводных информационно-телекоммуникационных сетей с высокими показателями скорости, устойчивости и надежности передачи данных при деструктивных воздействиях включает в себя разработку алгоритмов пространственно-временной обработки сигналов с адаптацией к складывающейся обстановке. За счет автоматической перестройки показателей пространственно-частотной избирательности устройств передачи-приема достигаются и поддерживаются требуемые характеристики целевых функций информационного обмена в трудно прогнозируемых ситуациях с априори неизвестными электрофизическими параметрами радиоканалов. В адаптивных средствах реализуются устойчивые процедуры компенсации пространственно-коррелированных помех, формирующихся при многолучевом распространении в условиях сложного профиля рельефа местности и городской застройки, а также преднамеренно создаваемых сторонними источниками, селекции сигналов, выполняется рациональное динамическое распределение пространственно-частотных областей для совместной работы радиолиний при зарезервированном ресурсе.

Одним из ключевых направлений организации информационного обмена в беспроводных сетях является использование пространственной размерности каналов с применением систем ММО – Multiple Input – Multiple Output и СИМО – Single Input – Multiple Output в сочетании с мультиплексированием при ортогональном частотном разделении OFDM – Orthogonal frequency-division multiplexing.

Анализ методологической базы для построения адаптивных алгоритмов обработки пространственно-временных сигналов в ММО-системах радиосвязи позволяет сделать вывод о неполном соответствии уровня развития теории потребностям решения практически важных задач в предметной области.

В трудах д.т.н. Абраменкова В.В., Васильченко О.В., Савинова Ю.И. представлены алгоритмы обработки сигналов в цифровых антенных решетках при адаптации характеристик пространственно-частотной избирательности, выполняемой градиентными методами при контроле среднеквадратических отклонений диаграмм направленности от заданной формы.

Однако адаптация, как правило, проводится в приближении эргодичности обрабатываемых процессов; передача-прием сигналов с многочастотными видами модуляции выполняется в однопозиционных системах; распространяю-

щиеся по радиоканалам волны имеют однолучевую структуру с комплексными амплитудами, распределенными по нормальному закону. Указанные ограничения практически исключают возможности исследования межсимвольной и межканальной интерференции и оценки влияния электрофизических параметров трассы распространения на эффективность адаптивных алгоритмов обработки сигналов.

В публикациях д.ф.-м.н. Зиминной С.В., Костылева В.И., Мальцева А.А., Музыка О.В. представлены методы статистического анализа адаптивных устройств с непрерывными градиентными методами настройки без предположения о статистической независимости совместного распределения векторов весовых коэффициентов и обрабатываемых сигналов. Полученные результаты могут быть использованы для технического анализа волновых процессов с многолучевой структурой.

При этом остаются открытыми вопросы пространственной фильтрации нестационарных сигналов, исследования закономерностей изменения средней выходной мощности адаптивной системы за счет флуктуаций весовых коэффициентов, превышающих минимальные значения функционалов качества, найденных для стационарных весовых векторов.

В работах д.ф.-м.н. Лукина А.Н., Радченко Ю.С. нашли отражение построения статистических моделей многолучевых радиоканалов, обусловленных дифракцией распространяющихся волновых процессов на локальных препятствиях. На основе этих результатов могут проводиться исследования замираний сигналов в средах с переотражениями и выбираться наиболее благоприятные условия передачи-приема за счет частотной избирательности каналов.

Вместе с тем, построенные алгоритмы не предназначены для использования в системах с пространственным кодированием, что накладывает существенные ограничения на скорость информационного обмена ввиду невозможности организации совместного функционирования независимых пространственных каналов в общей полосе частот.

В данном контексте разработка интеллектуальных адаптивных алгоритмов с возможностями динамической оптимизации параметров ММО-системы радиосвязи представляется важной практической задачей.

Таким образом, тема диссертационного исследования Аль-Мусави Висама Мохаммедтаки М Джавада «Адаптивный алгоритм обработки пространственно-временных сигналов в ММО-системе радиосвязи для базовой и мобильной станций», направленного на ее решение, является актуальной.

Оценка содержания работы. Представленная на отзыв оппоненту диссертация Аль-Мусави Висама Мохаммедтаки М Джавада «Адаптивный алгоритм обработки пространственно-временных сигналов в ММО-системе радиосвязи для базовой и мобильной станций» выполнена на кафедре теоретических основ радиотехники Института радиотехнических систем и управления федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный университет». Работа состоит из

введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 119 наименований и восьми приложений. Основной текст изложен на 168 страницах и содержит 32 рисунка и 8 таблиц.

В диссертации на основании выполненных автором исследований решена научная задача построения адаптивного алгоритма пространственно-временной обработки сигналов для применения в составе базовой и мобильной станций в интересах повышения эффективности MIMO-системы радиосвязи.

Во введении к диссертации представлена общая характеристика работы, обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, представлены авторские оценки научной новизны и практической значимости научных результатов и положений, выдвигаемых для публичной защиты.

В первой главе диссертации приведено описание технологий WiMAX, MIMO, OFDM, представлены методы пространственно-временной обработки сигналов и адаптации радиосистем, современные подходы к помехоустойчивому кодированию. Изложены принципы и условия повышения скорости передачи информации при использовании структур пространственного кодирования сигналов MIMO за счет формирования множества независимых пространственных информационных потоков в общей полосе частот.

Во второй главе диссертации выполнена разработка моделей каналов, построены математические модели сигналов и помех. Особого внимания заслуживает трехмерная модель беспроводного MIMO-канала, воспроизводящая распространение радиоволн в городских условиях с аналитическими оценками углов прихода в плоскостях азимута и угла места. Исследованы замираниями сигналов в среде с переотражениями и возможности их парирования при разделении каналов передачи-приема на множество независимых каналов с контролируемыми частотно-избирательными свойствами.

В третьей главе диссертации представлен адаптивный алгоритм пространственно-временной обработки сигналов. Приведены структурные схемы передающей и приемной систем связи, алгоритмы их моделирования, реализованные в среде MATLAB. Важным элементом является исследование синергетического эффекта при интеграции алгоритма адаптации радиосистем со способами помехоустойчивого кодирования с применением кодов Хэмминга и Рида-Соломона.

В четвертой главе диссертации содержатся результаты имитационного моделирования, подтверждающие эффективность реализации обоснованных решений. Продемонстрировано значительное снижение вероятности битовой ошибки и увеличение пропускной способности при использовании адаптивного алгоритма в системах SIMO-OFDM и MIMO-OFDM для различных видов модуляции и отношений сигнал/шум.

В заключении к диссертации сформулированы основные выводы, отражающие научные и практические результаты, и определены перспективы и направления дальнейшего развития темы исследования.

Степень обоснованности научных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации. К числу наиболее значимых научных ре-

зультатов, полученных автором на основании выполненных исследований и использованных для формулировки положений, выдвигаемых для публичной защиты, относятся:

- алгоритм пространственно-временной обработки сигналов, обеспечивающий снижение вероятности битовой ошибки и повышение пропускной способности мобильной и базовой станций ММО-системы радиосвязи;
- трехмерная модель беспроводного канала для оценки эффективности адаптивного алгоритма пространственно-временной обработки сигналов в ММО-системе радиосвязи;
- обоснованные рекомендации по выбору настроек модуляции, видов сигналов и параметров конструкций антенных систем для минимизации битовой ошибки и максимизации пропускной способности системы радиосвязи;
- результаты анализа совместимости кодов Хэмминга и Рида-Соломона с алгоритмом обработки сигналов в ММО- и СИМО-системах радиосвязи.

Указанные результаты и тематика диссертации в целом соответствуют направлениям исследований, определенным паспортом специальности 2.2.13. Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения:

- по пункту 2 (в части исследования алгоритмов обработки радиосигналов, учитывающих эффекты их рассеяния и отражения при прохождении через различные среды распространения);
- по пункту 4 (в части разработки и исследования устройств синтеза радиосигналов, создания эффективных методов их расчета и основ проектирования);
- по пункту 10 (в части разработки и исследования методов и устройств передачи, приема информации, включая беспроводные, эфирные и мобильные системы передачи информации).

Высокая степень обоснованности научных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных автором, определяется тем, что они получены с использованием современных методов теории волновых процессов, статистической радиофизики, пространственно-временной и цифровой обработки сигналов, адаптивных систем и матричного анализа.

Достоверность и новизна научных результатов, выводов и рекомендаций. Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, обеспечивается:

- применением современной методологии математического моделирования сложных технических систем и каналов информационного обмена (типа 3GPP/WiMAX), теоретически обоснованных и прошедших апробацию методов исследования, сертифицированных средств для проведения вычислительных и натуральных экспериментов;
- корректным выбором ограничений, допущений и исходных данных из практики разработки ММО-систем радиосвязи и изыскания технических решений по повышению помехозащищенности радиоэлектронной аппаратуры.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается ясной физической трактовкой выявленных эффектов, их соответствием общим физическим закономерностям, совпадением результатов теоретических исследований с данными, полученными в ходе экспериментов и натурных испытаний макетов передающих и приемных устройств. Частные результаты исследования, использованные для выполнения контрольных расчетов в среде MATLAB, согласуются с результатами, полученными альтернативными методами и содержащимися в работах других авторов.

Новизна научных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных на основании выполненных исследований, связана с развитием методических основ построения и исследования, а также разработки радиотехнических устройств и систем передачи информации с улучшенными показателями пропускной способности и помехозащищенности.

Научная новизна работы заключается в следующем.

1. Адаптивный алгоритм пространственно-временной обработки сигналов разработан при воспроизведении условий распространения в радиоканале с переотражениями на основе критерия максимума отношения сигнал/шум при выборе пути.

2. Трехмерная модель беспроводного канала для оценки эффективности адаптивного алгоритма пространственно-временной обработки сигналов в ММО-системе радиосвязи построена при воспроизведении углов прихода как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскости.

3. Рекомендации по выбору настроек модуляции, видов сигналов и параметров конструкций антенных систем выбраны при совместном выполнении процедур минимизации битовой ошибки и максимизации пропускной способности системы радиосвязи.

4. Анализ совместимости кодов Хэмминга и Рида-Соломона с алгоритмом обработки сигналов в ММО- и SIMO-системах радиосвязи выполнен с позиций синергетического эффекта при повышении помехозащищенности аппаратуры и снижении вероятности битовой ошибки на несколько порядков.

Теоретическая значимость работы заключается в развитии методологии обработки пространственно-временных сигналов и построения приемопередающих устройств ММО-систем радиосвязи с адаптацией к изменяющимся условиям радиоэлектронной обстановки.

Практическая значимость работы состоит в разработке предложений по разработке алгоритмов и обоснованию конструктивно-технических решений по повышению эффективности информационного обмена и помехозащищенности радиоэлектронной аппаратуры при проектировании беспроводных информационно-телекоммуникационных систем.

Представленные в научные результаты обеспечивают высокую точность определения показателей эффективности информационного обмена и устойчивость обработки пространственно-временных сигналов в ММО-системе радиосвязи в условиях деструктивных воздействий, что, в свою очередь, позволяет

снизить ресурсные и временные затраты на изготовление, экспериментальные исследования и настройку опытных образцов радиоэлектронной аппаратуры.

Практическая значимость результатов, полученных автором, подтверждается их реализацией при разработке базовых технологий информационного обмена при поддержке гранта Российского научного фонда «Разработка алгоритмов восстановления потерянных участков изображения карты подстилающей поверхности для беспилотных летательных аппаратов в условиях городской инфраструктуры».

Предложенные автором решения строго аргументированы и критически оценены по сравнению с другими известными результатами в области диссертационного исследования.

Апробация и публикации по теме диссертации. Основные результаты работы прошли широкую апробацию на международных и всероссийских научных форумах и в полной мере опубликованы в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией. Список публикаций, отражающих основные научные результаты диссертационного исследования, включает 9 научных работ, из них 4 статьи в журналах, входящих в Перечень Высшей аттестационной комиссии, 4 публикации в сборниках трудов конференций и 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

Автореферат правильно отражает содержание диссертации. В нем в лаконичной форме ясно изложены основные идеи и выводы по работе, показаны определяющий вклад соискателя в проведенные исследования, степень научной новизны и практическая значимость результатов.

Замечания и недостатки диссертационной работы. К числу основных замечаний и недостатков работы, на наш взгляд, относятся следующие.

1. В диссертации при обосновании актуальности темы исследования не приведены количественные оценки несоответствия реализованных в настоящее время показателей эффективности информационного обмена и помехозащищенности радиоэлектронной аппаратуры в ММО-системах радиосвязи требуемым значениям; при доказательстве факта достижения цели работы не оценена степень соответствия полученных результатов установленному уровню.

2. В явном виде не определены объект и предмет диссертационного исследования; цель работы отождествляется с научной задачей, подлежащей решению. Имеет место неполное соответствие между формулировками задач исследования, научных результатов и положений, выдвигаемых для публичной защиты, и авторскими оценками их научной новизны. При этом формулировки научной новизны результатов исследования и положений желательно дополнить описанием оригинальных методических приемов, отражающих суть развития ранее известных подходов к построению адаптивных алгоритмов пространственно-временной обработки сигналов в ММО-системах радиосвязи.

3. При построении трехмерной модели канала не учтено различие распределений амплитуд сигналов при распространении по прямому пути и другим траекториям, подчиненных законам Релея-Райса и Релея соответственно.

При реализации адаптивного алгоритма пространственно-временной обработки сигналов в ММО-системе радиосвязи используется двумерная модель канала и антенная система, имеющая 2D-конфигурацию.

4. Синтез адаптивного алгоритма пространственно-временной обработки сигналов выполнен без формализованного представления критерия и аналитических выражений, устанавливающих ограничения при реализации в базовых и мобильных станциях ММО-систем радиосвязи.

5. Представление результатов исследования было бы более наглядным при включении в диссертацию и автореферат таблиц, где сопоставлены характеристики и показатели эффективности радиосистем, достигнутые с применением авторских решений и реализованных в настоящее время технологий. В таблице 1 автореферата не указано, при каком отношении сигнал/шум производится сравнение вероятности битовой ошибки, что несколько затрудняет анализ результативности алгоритмов.

Кроме того, в тексте диссертации и автореферата встречаются отдельные стилистические неточности и опечатки.

Указанные недостатки, непосредственно не охватывающие положения, выдвигаемые для публичной защиты, и не связанные с достижением цели исследования, не снижают качества выполненной работы и не ставят под сомнение ее высокую оценку.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней. На основе анализа диссертации Аль-Мусави Висама Мохаммедтаки М Джавада «Адаптивный алгоритм обработки пространственно-временных сигналов в ММО-системе радиосвязи для базовой и мобильной станций» сделаны следующие выводы.

1. Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решена научная задача построения адаптивного алгоритма пространственно-временной обработки сигналов для применения в составе базовой и мобильной станций в интересах повышения эффективности ММО-системы радиосвязи. Решенная научная задача имеет значение для разработки и исследования методов и устройств передачи информации в беспроводных системах в соответствии с пунктами 2, 4 и 10 паспорта специальности 2.2.13. Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

2. Диссертация является завершенной научной работой, обладающей внутренним единством, содержит новые научные результаты, нашедшие практическое использование при разработке и исследовании методов и устройств передачи информации в беспроводных системах и свидетельствующие о личном вкладе автора в науку.


3. Работа удовлетворяет требованиям Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Аль-Мусави Висам Мохаммедтаки М Джавад, достоин присуждения ученой степени кан-

дидата технических наук по специальности 2.2.13. Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

Согласен с включением моих персональных данных в аттестационное дело соискателя Аль-Мусави Висама Мохаммедтаки М Джавада и их дальнейшей обработкой.

Оппонент:

доктор физико-математических наук профессор,
профессор кафедры электрооборудования
(и оптико-электронных систем)
Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил
«Военно-воздушная академия имени профессора
Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

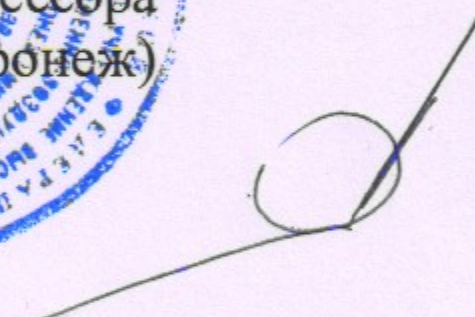

Разиньков Сергей Николаевич

«27» октября 2025 года

Подпись Разинькова С.Н. заверяю

Старший помощник начальника строевого отдела
Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил
«Военно-воздушная академия имени профессора
Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

«27» октября 2025 года


И.Антонов

Сведения об оппоненте:

Разиньков Сергей Николаевич, гражданин Российской Федерации, доктор физико-математических наук по специальностям 01.04.03 – Радиофизика, 05.12.07 – Антенны, СВЧ-устройства и их технологии, профессор, профессор кафедры электрооборудования (и оптико-электронных систем) федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж) Министерства обороны Российской Федерации.

Адрес: 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54а

Телефон: 8-(473)-244-78-29

E-mail: razinkovsergey@rambler.ru