

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук
Бородулина Романа Юрьевича на диссертацию
Фёдорова Сергея Михайловича «Синтез многолучевых антенных систем
с физическими и виртуальными элементами для улучшения
помехоустойчивости радиоэлектронной аппаратуры», представленную
на соискание ученой степени доктора технических наук
по специальности 2.2.14 «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии»

Сведения о рукописи

На отзыв официального оппонента были представлены:

- диссертация на 307 страницах, включая 172 рисунка и список литературы (345 наименований);
- автореферат – брошюра, 2.3 усл. печ. лист.

Цель диссертационной работы: исследование и разработка многолучевых антенн, позволяющих существенно повысить помехоустойчивость радиоэлектронной аппаратуры.

Актуальность темы исследования представляется достаточно обоснованной и связана с существующей на сегодняшний день практической потребностью в дальнейшем развитии помехоустойчивости радиоэлектронной аппаратуры связи.

Современные технологии постоянно создают новые способы улучшения характеристик старых систем. Многолучевые антенны являются одной из таких технологий. Данные антенны позволяют снизить уязвимость к помехам и сохранить зону покрытия в 360° при сохранении высокого коэффициента усиления. Благодаря указанным преимуществам многолучевые антенны находят широкое применение в различных областях.

Сегодня, беспилотные летательные аппараты (БПЛА) проникают во все сферы нашей жизни. Они выполняют различные военные и гражданские задачи, такие как наблюдение и разведка, распознавание целей, РЭБ, поисково-спасательные работы, мониторинг дорожного движения и т.д. При этом, использование БПЛА позволяет избежать угрозы жизни и здоровью пилотов. Важным требованием для эффективного использования БПЛА является поддержание устойчивого канала радиосвязи для передачи любых собранных данных, таких как видеоизображения или аудио. Для решения данной задачи привлекательным представляется использование многолучевых антенн, обеспечивающих высокий коэффициент усиления в точке приема, а также повышающих радиоскрытность и реализующих пространственную фильтрацию помех. Однако, в этом случае появляется задача постоянного удержания БПЛА в луче для чего могут использоваться

методы и способы пеленгации, обладающие повышенной помехоустойчивостью.

Таким образом, тема диссертационной работы в достаточной степени актуальна.

Структура, содержание и оформление диссертации

Структура диссертационной работы возражений не вызывает. Диссертация состоит из введения, пяти разделов, заключения, и списка литературы.

Раздел 1 посвящен анализу существующих технических решений многолучевых антенн и методов их расчета, а также методов пеленгации.

Проведен анализ существующих технических решений многолучевых антенн. Рассмотрены основные типы многолучевых антенн. Обоснована перспективность создания многолучевых антенн с полноазимутальным сканированием. Выполнен анализ методов радиопеленгации, рассмотрены сильные и слабые стороны существующих алгоритмов.

В разделе 2 представлены результаты теоретических исследований виртуальных антенных решеток – метода уменьшения искажений поля с помощью процедуры аппроксимации.

Исследовано влияние использования сильно искаженных отсчетов поля на точности аппроксимации. Предложен и исследован способ уменьшения данного негативного эффекта. Исследована зависимость эффективности метода виртуальных антенных решеток от их радиуса. Сформированы рекомендации по выбору оптимального радиуса виртуальной антенной решетки. Исследована возможность использования метода виртуальных антенных решеток для восстановления фаз принимаемого сигнала с целью использования в системах связи с фазовой модуляцией.

В разделе 3 выполнены разработка и исследование векторных антенных элементов, и помехоустойчивого метода пеленгации, использующего особенности их конструкции.

Выполнены исследования и разработка конструкции векторных антенных элементов, составленных из электрических диполей расположенных на гранях правильных многогранников – тетраэдра и куба. В ходе математического моделирования получены их рабочие характеристики.

Разработан метод пеленгации, основанных на измерении пространственных компонент искаженного электрического поля и их пересчете в, существенно менее искаженное, магнитное поле. Проведен анализ эффективности использования рассчитанного магнитного поля для определения направления на источник радиоизлучения.

В разделе 4 рассмотрен метод создания антенн с перестраиваемыми диаграммами направленности на основе управляемого метаматериала.

Проведено сравнительное исследование антенн построенных устройств, построенных на основе управляемого метаматериала и их цельнометаллических аналогов. Показана применимость управляемого

метаматериала для создания фазовращателей и отражающих фазированных антенных решеток.

В разделе 5 представлено исследование конструкций многолучевых антенн и антенн на основе однопроводной линии.

Разработаны и исследованы конструкции многолучевых антенн с полноазимутальным сканированием. Разработана и исследована антенна на основе поляризационно-селективного зеркала. Показана возможность использования однопроводной линии для создания антенн с тороидальной и веерной диаграммами направленности

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы и перспективы дальнейших исследований.

Рукопись диссертации оформлена в соответствии с действующими требованиями, включая требования ГОСТ.

Обоснованность и достоверность результатов работы в достаточной степени подтверждены и обеспечиваются адекватностью использованных методов и построенных на их основе расчетных моделей. Достоверность результатов работы подтверждается хорошим согласованием результатов расчетов с результатами экспериментальных исследований.

Научная новизна работы определяется следующими основными результатами:

1. Выяснено, что радиус размещения аппроксимированных отсчетов поля необходимо изменять в зависимости от рабочей частоты с целью увеличения эффективности борьбы с искажениями поля.

2. Показано, что использование рассчитанной магнитной компоненты поля позволяет уменьшить влияние искажений поля на точность оценки направления на источник радиоизлучения.

3. Показано, что для построения антенных устройств с динамически изменяемой отражающей поверхностью можно использовать структуру в виде кристаллической решетки, образованной из тонких проводников и соединенных друг с другом с помощью коммутационных элементов.

4. Предложено использовать диаграммообразующую схему в виде двухуровневой линзы для нивелирования эффекта затенения каналов в многолучевых антеннах с полноазимутальным сканированием.

5. Показано, что размеры металлодиэлектрической линзы, используемой для построения многолучевых антенн, могут быть уменьшены путем увеличения длины пути распространения волны по телу линзы.

6. Показано, что использование поляризационно-селективного рефлектора позволяет строить многолучевые антенны с полноазимутальным сканированием.

7. Разработана и исследована методика построения многолучевой антенны с полноазимутальным сканированием на основе диэлектрической линзы в форме половины сферы и системы облучателей, расположенных вокруг нее.

8. Показано, что на основе однопроводной линии передач возможно построение антенн с веерной и тороидальной диаграммами направленности.

Теоретическая значимость работы определяется упомянутыми новыми научными результатами, которые способствуют развитию методологической базы проектирования многолучевых антенн для улучшения помехоустойчивости и расширяют знания в области антенной техники.

Практическая значимость работы определяется тем, что разработанные методы, а также технические решения и полученные результаты их исследований могут быть непосредственно использованы разработчиками радиоэлектронных устройств для улучшения помехоустойчивости.

Личный вклад автора четко определен и сомнений не вызывает. По результатам рассмотрения диссертации не обнаружены какие-либо факты использования заимствованных материалов без ссылки на источники.

Соответствие диссертации заявленной специальности

Работа соответствует п.п. 2, 3 и 9 паспорта специальности 2.2.14 «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии».

Апробация и публикации

Уровень апробации и опубликования результатов работы соответствует действующим требованиям. Автором лично и в соавторстве опубликованы 111 печатных трудов, в том числе 46 статей в ведущих рецензируемых научных журналах, входящих в Перечень ВАК; 19 публикаций в изданиях, индексируемых в Web of Science и Scopus; и 37 публикаций в форме текстов и тезисов докладов на Международных и Российских конференциях.

Замечания по диссертационной работе

1. Из текста диссертации неясно, на чем основаны утверждения о возможности формирования «виртуальных» антенных решеток с помощью вспомогательных источников.

2. Если описанная в параграфе 2.1 процедура квазирешения позволяет существенно повысить эффективность методов ВАР в плане поиска истинного направления на ИРИ, то почему в параграфах 2.3-2.4 исследуется метод формирования ВАР без использования этой процедуры?

3. Соискателем не рассмотрен вопрос о влиянии входного сопротивления высокочастотных усилителей на функционирование разработанных многолучевых антенн с коммутационным сканированием.

4. Модели в параграфе 2.5 выглядят весьма упрощенными. Насколько результаты моделирования с использованием данных моделей могут быть идентичны результатам натуральных экспериментов с использованием реальных образцов техники?

Отмеченные недостатки не являются критическими и не препятствуют положительной оценке работы в целом.

Заключение

Диссертационная работа Фёдорова С.М. соответствует требованиям п.9 Положения о присуждении ученых степеней и является научно-

квалификационной работой, в которой содержится решение задачи, имеющей значение для развития отрасли антенн, СВЧ-устройств и их технологий, а именно – задачи разработки антенных устройств для улучшения помехоустойчивости радиоэлектронной аппаратуры.

Диссертация по содержанию и оформлению удовлетворяет действующим требованиям, включая требования п.п. 9, 10 Положения.

В диссертации, в соответствии с п.14 Положения, имеются все необходимые ссылки на авторов и источники заимствованных материалов, в том числе на научные работы соискателя. Каких-либо признаков плагиата или недобросовестного цитирования не обнаружено.

Автореферат диссертации в достаточной мере отражает ее содержание и удовлетворяет требованиям п. 25 Положения.

Работа соответствует заявленной специальности 2.2.14. Антенны, СВЧ-устройства и их технологии, и удовлетворяет требованиям действующего Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор, Фёдоров Сергей Михайлович, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук.

Согласен на включение моих персональных данных в аттестационное дело Фёдорова С.М. и их дальнейшую обработку.

Доктор технических наук, доцент

Бородулин Роман Юрьевич

Подпись Бородулина Романа Юрьевича заверяю.
Начальник строевого отдела Военной академии связи



Головин Алексей Сергеевич

авторе отзыва: Бородулин Роман Юрьевич, профессор (иосвязи) федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военная орденов Жукова и Ленина Краснознаменная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного», г. Санкт-Петербург, доктор технических наук, доцент.

Адрес организации: 194064, г. Санкт-Петербург, К-64, Тихорецкий проспект, д.3

Телефон: 8-812-247-98-25

Эл.почта: borodulroman@ya.ru

Исп.: Бородулин Р.Ю.

Отп. Лянгузов Д.А.

11.09.2025