

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Фёдорова Сергея Михайловича
«Синтез многолучевых антенных систем с физическими и виртуальными элементами для улучшения помехоустойчивости радиоэлектронной аппаратуры»,
представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.14. Антенны, СВЧ-устройства и их технологии

Стремительная цифровая трансформация всех сфер жизни, характеризующая повсеместным внедрением интернета вещей (IoT), мобильных мультимедийных сервисов, беспилотного транспорта и роботизированных комплексов, предъявляет высокие требования к пропускной способности, надежности и задержкам в беспроводных каналах. Однако, перегруженность доступного частотного спектра и растущий уровень как преднамеренных, так и непреднамеренных помех становятся основным препятствием на пути развития этих технологий. Представленная работа является глубоким и комплексным исследованием, направленным на решение одной из ключевых проблем современных беспроводных систем – борьбы с радиочастотными помехами.

Автор проводит всесторонний анализ природы помех, как преднамеренных, так и непреднамеренных, и обоснованно предлагает в качестве основного инструмента повышения помехоустойчивости использование многолучевых антенн (МЛА) и реконфигурируемых антенных устройств. Особо отмечается важность решения задачи обеспечения широкоугольного или полноазимутального покрытия, что традиционно является сложной проблемой для МЛА из-за эффекта затенения. В качестве второго ключевого направления выделена разработка помехоустойчивых методов радиопеленгации, которые используются для изменения направления главного лепестка диаграммы направленности и удержания передатчика в узком луче, при этом справедливо указано на уязвимость классических алгоритмов пеленгации к помехам. Предлагаемые автором решения – использование виртуальных антенных решеток (ВАР) и векторных антенн, менее подверженной искажениям, – выглядят крайне перспективными и научно обоснованными.

Научная новизна представленных в автореферате результатов заключается в следующем:

- разработан метод формирования ВАР с изменяющимся в зависимости от частоты радиусом, позволяющий адаптивно минимизировать негативное влияние дифракционных искажений электромагнитного поля, вызванных корпусом мобильного или бортового носителя, подстилающей поверхностью и другими близлежащими рассеивателями, что существенно повышает точность оценки угловых координат источников радиоизлучения в широком частотном диапазоне;
- разработан метод пеленгации источников радиоизлучения на основе вычисления компонент магнитного поля, позволяющий значительно снизить по-

грешность оценки направления прихода волны в условиях сильных помех и искажений;

- разработана новая конструкция управляемого метаматериала, представляющего собой электромагнитный кристалл с коммутационными элементами в его узлах, позволяющего синтезировать отражающие поверхности сложной геометрической формы с высокой точностью и является универсальной основой для создания широкополосных реконфигурируемых отражательных антенн и фазовращателей, управление которыми может осуществляться по оптоволоконным линиям, нечувствительным к помехам;

- разработана методика проектирования двухуровневой диаграммообразующей схемы на основе перфорированного металлического листа, обеспечивающая перенос электромагнитной энергии между уровнями и позволяющая реализовать МЛА с полноазимутальным сканированием без эффекта затенения тела линзы, что является ключевым препятствием для классических конструкций;

- разработан метод уменьшения вертикальных размеров металлодиэлектрической линзы для построения МЛА с полусферическим сканированием с использованием принципов трансформационной оптики;

- разработаны конструкции полноазимутальных МЛА на основе поляризационно-селективного рефлектора в форме усеченного эллипсоида вращения, однородной полусферической диэлектрической линзы с кольцевой системой облучателей для работы с одной и двумя ортогональными поляризациями,

- разработаны и исследованы конструкции антенн на основе однопроводной линии, формирующих тороидальную и веерную диаграммы направленности.

Практическая значимость диссертации заключается в создании научно-технического задела для разработки нового поколения помехоустойчивой радиоэлектронной аппаратуры, востребованной в телекоммуникационной и оборонной отраслях промышленности. Разработанные в работе методы и технические решения направлены на непосредственное повышение помехоустойчивости современных и перспективных систем радиосвязи и управления. Полученные результаты были внедрены в промышленное производство, что подтверждается актами внедрения от ведущих предприятий радиоэлектронной отрасли, включая АО НПП «Автоматизированные системы связи», АО НВП «ПРОТЕК», АО «НКТБ «Феррит» и АО «Электросигнал». Практическая ценность работы также подтверждается ее использованием при выполнении крупных научно-исследовательских проектов, включая грант Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых и грант Российского научного фонда, а также ряда государственных заданий по созданию молодежной лаборатории и разработке аппаратно-программных комплексов для беспилотных летательных аппаратов.

Несмотря на отмеченные достоинства работы, при чтении автореферата возникли следующие замечания.

1. В параграфах 2.1–2.5 детально исследуется эффективность метода ВАР для компенсации искажений и повышения точности пеленгации. При этом от-

сутствует оценка вычислительной сложности и требований к аппаратным ресурсам (вычислительным мощностям, памяти) для реализации данного метода в реальном времени.

2. В параграфе 3.1 описывается разработка векторной антенны в виде куба, а в параграфе 3.2 – в виде тетраэдра. Утверждается, что конструкция тетраэдра позволяет уменьшить число вибраторов в два раза, однако в автореферате отсутствует прямое сравнение точности пеленгации, сложности изготовления, массогабаритных показателей и полосы пропускания этих двух конструкций между собой.

Приведенные выше замечания носят исключительно рекомендательный характер, не затрагивают существа работы и не умаляют ее достоинств.

Считаю, что диссертация Фёдорова Сергея Михайловича на соискание ученой степени доктора технических наук представляет собой завершённую научно-квалификационную работу и соответствует предъявляемым к докторским диссертациям требованиям, представленным в пп. 9, 10, 11 и 14 Положения о присуждении ученых степеней. Автор диссертации достоин присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.14. «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии».

Доктор физико-математических наук, доцент,
ведущий инженер-конструктор
дизайн-центра проектирования ИМС

Константин Владимирович Зольников

« 8 » сентября 2025 г.



Докторская диссертация защищена по специальности

2.3.7. - Компьютерное моделирование и автоматизация проектирования

Контактная информация организации

Полное наименование организации: Акционерное общество «Научно-исследовательский институт электронной техники».

Адрес с индексом: 394033, Россия, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, д. 5

Телефон: +7(473) 280-22-97

Эл. почта: k.v.zolnikov@niiet.ru