

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

Многолучевые антенны используются в системах связи различного назначения, в том числе, с целью улучшения помехоустойчивости за счет формирования луча с высоким коэффициентом усиления, направление которого может динамически меняться, обеспечивая требуемую зону покрытия вокруг антенны. Линзовые антенны позволяют решить данную задачу. К настоящему времени разработаны различные конструкции, а также методики проектирования линзовых антенн, однако, при реализации многолучевого полноазимутального сканирования их рабочие характеристики существенно ограничиваются из-за эффекта затенения. Кроме того, для эффективного управления диаграммой направленности необходимо знать направление как на объект связи, так и на объект-постановщик помехи. Требуется использовать помехоустойчивые методы пеленгации. В рассматриваемой диссертации соискатель решал вышеперечисленные научно-технические задачи, что обуславливает актуальность темы работы. Целью работы являлась разработка методов и исследование способов повышения помехоустойчивости радиоэлектронной аппаратуры с помощью многолучевых антенн, состоящих из реальных и виртуальных антенных элементов.

Соискателем были предложены и исследованы электродинамические характеристики различных многолучевых антенн на основе разработанной диаграммообразующей схемы, позволяющий нивелировать эффект затенения каналов при полноазимутальном сканировании. Разработан и исследован ме-

тод восстановления отсчетов электромагнитного поля на некотором удалении от измерительной антенной решетки. Предложены способы увеличения эффективности данного метода. Разработана и исследована конструкция векторной антенны. Предложен метод борьбы с искажениями электрического поля, использующего особенности данной антенны, который заключается в пересчете измеренного вектора E в магнитную компоненту. Разработана методика построения поляризационно-селективного зеркала, используемого для создания полноазимутальных многолучевых антенн. Разработана и исследована конструкция многолучевой антенны на основе диэлектрической линзы в виде половины сферы, вокруг которой размещались облучатели.

Полученные автором результаты имеют научную новизну. Теоретическая значимость обусловлена существенным вкладом автора в развитие теории и техники повышения помехоустойчивости радиоэлектронной аппаратуры, а также методов разработки многолучевых антенн с полноазимутальным сканированием и помехоустойчивых методов пеленгации.

Практическая значимость результатов работы подтверждается тем, что ее результаты внедрены в АО НПП «Автоматизированные системы связи», АО НВП «ПРОТЕК», АО «НКТБ «Феррит», АО «Электросигнал». Также результаты работы внедрены в образовательный процесс ФГБОУ ВО «ВГТУ» в дисциплину «Системы подвижной радиосвязи». Кроме того, результаты диссертации были использованы в ряде научно-исследовательских работ:

- грант Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых № МК-57.2020.9 «Исследование и разработка опто-управляемого метаматериала для создания многофункциональных сверхширокополосных антенных систем»;

- грант Российского научного фонда № 19-79-10109 «Аппроксимация пространственного распределения электромагнитного поля в окрестности расположения трехмерных рассеивателей с априорно неизвестными геометрией и материальными свойствами с целью формирования дополнительных

"виртуальных" каналов радиоприема»;

- продленный грант Российского научного фонда № 19-79-10109-П;
- государственное задание № FZGM-2024-0003 по созданию молодежной лаборатории «Помехоустойчивых систем связи и управления наземными и воздушными беспилотными роботизированными аппаратами»;
- государственное задание № FZGM-2023-0011 «Разработка и исследование аппаратно-программного комплекса, обеспечивающего функциональность беспилотных летательных аппаратов малого радиуса действия»;
- государственное задание № FZGM-2024-0006 «Разработка и исследование принципов создания системы обнаружения беспилотных летательных аппаратов с использованием аэромобильных антенных систем».

Основные результаты диссертации опубликованы в 111 работах, из них 46 – в изданиях, рекомендованных ВАК; 37 докладов опубликовано в сборниках трудов международных и всероссийских научно-технических конференций; 19 публикаций в изданиях, индексируемых в Web of Science и Scopus; 3 монографии. Получено 3 патента РФ на изобретение.

Замечания по автореферату диссертации:

1. Во второй главе описана кольцевая антенная решетка из 18 реальных излучателей радиусом 20 мм, размещенная на поверхности мобильного телефона. При этом на максимальной рассматриваемой частоте 5 ГГц расстояние между излучателями составляет всего 0,11 длины волны. Автор утверждает, что решал электродинамическую задачу с учетом не только головы пользователя, но и его руки. Указанное место расположения антенн в большинстве случаев будет закрыто рукой и ее влияние на корректность пеленгации может быть существенно, однако это влияние, судя по автореферату, не рассмотрено.

2. Описанная в главе 3 векторная антенная система в виде тетраэдра не имеет привязанной к ней системы координат и отсутствует нумерация антенн, для которых записаны последующие выражения для расчета компо-

нентов вектора **Е**. Не указаны размеры ребер тетраэдра, а также разнос антенн при расчете графика на рисунке 9, что не позволяет полноценно оценить полученные результаты. Не ясно, чем обусловлена систематическая ошибка пеленгации в $+(75-50)$ градусов на рисунке 9 в указанном диапазоне частот.

3. Показанные в автореферате векторные антенны в виде тетраэдра и куба представлены в виде схематичных моделей. Не ясно, каким образом предполагается реализовать данные конструкции технически с подключением линий, устройств симметрирования и т.п.

4. Приведенные в четвертой главе результаты в большей степени можно характеризовать как перспективные идеи. За рамками автореферата остались техническая реализация управляемого метаматериала и конструкции предлагаемых устройств на его основе.

Несмотря на отмеченные замечания, представленная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК к докторским диссертациям, а Фёдоров Сергей Михайлович заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.14. Антенны, СВЧ-устройства и их технологии.

Доктор технических наук,
заведующий кафедрой
радиоэлектроники и телекоммуникаций
ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента
России Б.Н. Ельцина», профессор

Шабунин Сергей Николаевич

12.04.2025

620002, Екатеринбург, ул. Мира 19,
тел. (343)-375-4886, E-mail: s.n.shabunin@urfu.ru

Подпись Шабунина С.Н. удостоверяется
Ученый секретарь ученого совета
УрФУ, к.т.н., доцент

Главный специалист
Ученого совета УрФУ
Кудряшова Н.Н.

В.А. Морозова