

## 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

### **Актуальность темы диссертационной работы**

Развитие цифровых систем передачи информации с использованием радиосигналов привело к необходимости совершенствования приёмных систем. Известно, что надёжность приёма радиосигнала зависит от отношения сигнал/шум на входе приёмного устройства. Увеличивать значение данного отношения можно за счет повышения мощности передатчика, но у такого подхода есть ограничение, обусловленное пределами физической реализации его устройств. Поэтому тема диссертации, посвященная разработке и исследованию методов улучшения помехоустойчивости с помощью многолучевых антенн, и аппроксимации отсчетов электромагнитного поля является актуальной.

### **Научная новизна исследования и актуальность полученных результатов**

В диссертации получены следующие результаты, характеризующиеся научной новизной:

– разработан метод формирования виртуальной антенной решетки с изменяющимся по частоте радиусом, позволяющий реализовать процедуру оценки угловых координат источников радиоизлучения в условиях значительных дифракционных искажений измеряемого электромагнитного поля на антенной системе, корпусе её подвижного или бортового носителя, подстилающей поверхности, а также других близлежащих рассеивателей;

– разработан метод пеленгования источников радиоизлучения и необходимая для его реализации конструкция векторной антенны, заключающаяся в измерении пространственных компонент электрического поля и вычислении на их основе менее искажённых компонент магнитного поля, используемых для вычисления действительной части вектора Пойнтинга, что позволяет оценивать направление падения электромагнитной волны;

– разработан метод проектирования управляемого метаматериала, являющегося базовым элементом для построения реконфигурируемых отражательных антенн и фазовращателей и представляющего собой электромагнитный кристалл, в узлах которого расположены коммутационные элементы, используемые для формирования отражающей поверхности со сложной геометрией;

– разработана методика проектирования диаграммообразующей схемы в виде двухуровневой линзы на основе металлического листа с системой отверстий для перетока электромагнитной энергии из нижней части в верхнюю, являющейся основой построения многолучевой антенны с полноазимутальным сканированием без эффекта затенения корпуса линзы;

– разработана методика проектирования металлодиэлектрической линзы с уменьшенными габаритами методом преобразовательной оптики, используемой для построения многолучевой антенны с полусферическим сканированием;

– разработана методика построения полноазимутальных многолучевых антенн на основе поляризационно-селективного зеркала в виде усеченного эллипсоида вращения из наклонных тонких проволок, внутри которого размещена система фидеров;

– разработана методика проектирования полноазимутальных многолучевых антенн на основе однородной диэлектрической линзы полусферической формы с системой фидеров, расположенных вокруг нее, для работы с одной или двумя линейными ортогональными поляризациями;

– разработана методика построения антенны на основе однопроводной линии, используемой для возбуждения линейных излучателей, расположенных по принципу, аналогичному антенне Франклина, и совместно с параллельной дифракционной решеткой для формирования тороидальной и верной диаграмм направленности соответственно.

Достоверность полученных результатов и обоснованность основных положений не вызывают сомнений, т.к. соискателем были правильно известные методы синтеза и анализа многолучевых антенн, а также корректно использованы известные методы математического моделирования и вычислительные методы технической электродинамики. Полученные результаты не противоречат фундаментальным законам физики, теории и техники антенн, электродинамики, а также ранее описанным в литературе исследованиям других авторов. Теоретическое обоснование полученных результатов проводилось с использованием фундаментальных законов электродинамики, теории и техники антенн. Экспериментальные данные получены с использованием стандартных методик измерения характеристик и параметров антенн. Результаты экспериментов подтвердили достоверность численного электродинамического моделирования.

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

#### **Значимость результатов диссертации для науки и производства**

Научная значимость работы заключается в создании и исследовании методов восстановления комплексных значений поля в точках на окружности с изменяющимся радиусом, и использования этих отсчетов в качестве виртуальной антенной решетки для борьбы с помехами, а также метода создания управляемого метаматериала, на основе которого можно создать различные СВЧ-устройства отражательного типа.

Практическая значимость полученных результатов заключается в разработке методов построения многолучевых антенных устройств на основе двухуровневой линзы, полусферической диэлектрической линзы, металлодиэлектрической линзы, поляризационно-селективного зеркала. Кроме того,

была предложена методика создания антенн с веерной диаграммой направленности на основе однопроводной линии. Практическая значимость полученных результатов подтверждается наличием четырех актов внедрения.

### **Замечания по диссертационной работе в целом**

Однако, несмотря на всестороннюю проработку вопросов, рассматриваемых в диссертации, работа не свободна от недостатков. В частности, необходимо отметить следующие:

1. Результаты диссертации подтверждают высокую степень проработки темы, однако, в ряде случаев, выводы сформулированы без достаточного сравнения с решениями, представленными в научной литературе.
2. В автореферате не приводится описание методики экспериментального измерения рабочих характеристик макета многолучевой антенны на основе полусферической линзы, что затрудняет воспроизводимость исследований.

Следует отметить, что указанные недостатки не снижают общего положительного впечатления о диссертации, отличающейся логичностью и ясностью изложения материала. Кроме того, хотелось бы пожелать соискателю при таком большом количестве полученных результатов более активно патентовать их.

### **Заключение по работе**

Диссертационная работа Фёдорова Сергея Михайловича представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, выполненную на высоком научно-техническом уровне, отличается научной и практической ценностью, может быть полезна для разработчиков радиотехнических систем различного назначения. В ней решена крупная научная проблема улучшения помехоустойчивости радиоэлектронной аппаратуры за счет синтез многолучевых антенных систем с физическими и виртуальными элементами.

Диссертация отвечает требованиям п. 9-11 Положения о порядке присуждения ученых степеней ВАК, а ее автор, Фёдоров Сергей Михайлович, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.14. Антенны, СВЧ-устройства и их технологии.

Профессор кафедры РЛ1 «Радиоэлектронные системы и устройства»,  
Ученый секретарь Ученого совета ФГАОУ ВО «МГТУ им. Н.Э. Баумана»,  
доктор технических наук, профессор

125009, г. Москва, 2-я Бауманская ул.  
тел. 8 (499) 263-69-67  
e-mail: chernshv@bmstu.ru

Чернышев Сергей Леонидович

10.09.2025 г.

г.р.1, 11 этаж, каб. 1106