



МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ,
СВЯЗИ И МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования

«Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»

Льва Толстого ул., д. 23, г. Самара, 443010. Телефон: (846)333-58-56. E-mail: info@psuti.ru, www.psuti.ru
ОКПО 01179900; ОГРН 1026301421992; ИНН/КПП 6317017702/631701001

27.08.2025 № 2016/03-01-04 На № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе,

доктор технических наук, профессор

Иван Олег Валериевич

_____ 2025 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации,

Федерального государственного бюджетного образовательного учрежде-
ние высшего образования «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»

на диссертационную работу Фёдорова Сергея Михайловича «Синтез много-
лучевых антенных систем с физическими и виртуальными элементами для
улучшения помехоустойчивости радиоэлектронной аппаратуры», представ-
ленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специаль-
ности 2.2.14. Антенны, СВЧ-устройства и их технологии

1. Вводные положения

Диссертационная работа выполнена в ФГБОУ ВО «Воронежский госу-
дарственный технический университет».

Научный консультант: доктор технических наук, профессор Ю.Г. Па-
стернак.

На отзыв ведущей организации были представлены:

- диссертация – 1 том, 307 листов;
- автореферат – брошюра, 2.3 усл. печ. лист.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и
списка литературы (345 наименований).

2. Актуальность темы

Диссертация Фёдорова С.М. посвящена синтезу многолучевых антенных систем с физическими и виртуальными элементами для улучшения помехоустойчивости радиоэлектронной аппаратуры.

Тема диссертационной работы непосредственно связана с существующей на сегодняшний день практической потребностью в развитии и модернизации систем связи с точки зрения повышения их помехоустойчивости.

Несмотря на интенсивное развитие методов и способов улучшения помехоустойчивости современных систем связи, в ряде прикладных задач (например, организация канала радиосвязи с БПЛА) данный параметр не достигает необходимого уровня, и является основным ограничивающим фактором для роста эффективности работы конечного устройства.

Более того, глобальные вызовы последних лет, усиливающиеся военно-политические и террористические угрозы, широкое использование устройств радиоподавления в зонах ведения военных конфликтов и на территориях, примыкающих к ним, наглядно продемонстрировали насущную необходимость повышения помехоустойчивости систем радиосвязи.

Дальнейшее улучшение помехоустойчивости систем радиосвязи связано с развитием антенных устройств, включая многолучевые антенны, а также методов борьбы с помехами, работающими в тесной связи с используемыми конструкциями антенн.

Таким образом, актуальность темы диссертации Фёдорова С.М. представляется в достаточной степени обоснованной.

3. Структура и содержание диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы (345 наименований).

Во **введении** отмечена актуальность темы диссертации, обозначены цель и задачи работы, приведены новизна, практическая значимость и достоверность проведенного исследования, отражена апробация результатов работы.

Раздел 1 посвящен анализу современных технических решений многолучевых антенных устройств, а также приведен обзор методов пеленгации, использование которых необходимо для управления диаграммой направленности антенн с целью максимизации уровня принимаемого (передаваемого) сигнала.

В разделе 2 представлены результаты исследования возможности использования метода аппроксимации поля на удалении от антенной решетки, с помощью измеренных этой решеткой значений поля. Приведено исследование влияния радиуса, получившийся из аппроксимированных отсчетов поля виртуальной антенной решетки, на эффективность борьбы с помехами. Показано, что в случае сильных искажений отсчетов поля, их можно заменить на виртуальные антенные элементы, которые затем используются для формирования виртуальной антенной решетки большего радиуса. Приведены зависимости, подтверждающие эффективность такого подхода в повышении помехоустойчивости.

Раздел 3 посвящен исследованию и разработке векторных антенн в виде куба и тетраэдра, и метода специального метода пеленгации, использующего особенности конструкций этих антенн.

Приведено математическое описание предложенного метода пеленгации, а также частотные зависимости оценки пеленгов в сравнении с корреляционно-интерферометрическим методом. Показана высокая эффективность применения векторных, установленных на различных носителях.

Раздел 4 посвящен разработке и исследованию метаматериала в виде электромагнитного кристалла с коммутационными элементами, размещаемыми в его узлах.

Приведены результаты математического моделирования, показывающие возможность использования разработанного метаматериала для создания реконфигурируемых антенн с динамически перестраиваемыми отражающими поверхностями, а также отражающих и проходных фазовращателей.

Раздел 5 посвящен разработке и исследованию многолучевых антенны с возможностью полноазимутального сканирования без эффекта затенения каналов.

Показано, что для построения таких многолучевых антенн можно использовать двухуровневую линзу с перфорированным металлическим листом посередине. Приведены рабочие характеристики разработанных антенн, полученные в ходе математического моделирования, а также результаты экспериментального исследования. Показано, что использование предложенных многолучевых антенн позволяет повысить помехоустойчивость систем за счет пространственной фильтрации нежелательных сигналов.

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

4. Научная новизна результатов диссертационного исследования

По результатам изучения диссертации и доступных публикаций автора могут быть выделены следующие результаты исследований, обоснованно претендующие на научную новизну:

– Выяснено, что точность аппроксимации поля на круге может быть улучшена при выборе оптимальной, для данной рабочей частоты, величины радиуса, а также показана возможность замены сильно искаженных измеренных отсчетов поля на виртуальные для дальнейшего уменьшения влияния близлежащих рассеивателей.

– Проведено исследование эффективности использования магнитной напряженности поля, которая рассчитывалась на основе искажённого вектора электрической напряженности, для оценки пеленгов. Разработана конструкция векторной антенны для измерения пространственных компонент электрической напряжённости поля. Исследован разработанный метод пеленгации, использующий особенности конструкции векторной антенны.

– Показана возможность формирования и динамической перестройки отражающей поверхности с помощью управляемого метаматериала в виде электромагнитной кристалла, образованного тонкими проводниками с коммутационными устройствами, расположенными в узлах.

– Исследована возможность создания многолучевых антенн с полноазимутальным сканированием без эффекта затенения с помощью разработанной диаграммообразующей схемы в виде двухуровневой линзы с перфорированной разделяющей металлической стенкой.

– Выяснено, что многолучевая антенна на основе полусферической диэлектрической линзы с системой облучателей, расположенных вокруг нее, позволяет реализовывать полноазимутальное сканирование.

– Разработано и исследовано поляризационно-селективное зеркало усеченной сферической формы, внутри которой размещалась система облучателей, позволяющий реализовать многолучевую антенну с полноазимутальным сканированием.

– Разработана и исследована многолучевая антенна с полусферическим сектором сканирования с уменьшенными вертикальными размерами, благодаря использованию металлодиэлектрической линзы сжатой по вертикали в соответствии с принципом трансформационной оптики.

– Выяснено, что однопроводная линия с одним возбудителем позволяет построить антенны с веерной и тороидальной диаграммами направленности.

5. Значимость для науки результатов диссертационных исследований автора

Теоретическая значимость результатов диссертационной работы представляется достаточно обоснованной и связана, прежде всего, с упомянутыми выше новыми научными результатами. Так, предложенный метод аппроксимации поля, основанный на исследовании зависимости значений поля в точках размещения антенных элементов и значений поля на некотором удалении от антенной решетки, не требует априорного знания об геометрии и электродинамических свойствах объектов, искажающих поле, способствует развитию и обогащению методологии создания помехоустойчивых систем связи. Метод пеленгации на основе векторных антенных элементов и расчета магнитной компоненты поля, также является вкладом в развитие методологии уменьшения влияния помех. Разработка и исследование диаграммообразующей схемы на основе двухуровневой линзы, позволяющей строить полноазимутальные многолучевые антенны без эффекта затенения каналов расширяет знания об антеннах с перестраиваемыми диаграммами направленности.

Диссертационная работа содержит **значимые научные результаты по заявленной специальности 2.2.14.** Антенны, СВЧ-устройства и их технологии и, в частности, по п.2 (Исследование характеристик антенн и микроволновых устройств для их оптимизации и модернизации, что позволяет осваивать новые частотные диапазоны, обеспечивать электромагнитную совместимость, создавать высокоэффективную технологию и т.д.), п.3 (Исследование и разработка новых антенных систем, активных и пассивных микроволновых устройств, в том числе управляющих, фазирующих, экранирующих и других, с существенно улучшенными параметрами) и п.9 (Разработка методов автоматизированного проектирования и оптимизации антенных систем и микроволновых устройств широкого применения) паспорта специальности.

Обоснованность и достоверность результатов работы сомнений не вызывают и обеспечиваются корректным выбором использованных методов и построенных на их основе расчетных моделей. Достоверность результатов работы подтверждается результатами экспериментальных исследований.

6. Практическая значимость результатов диссертационных исследований автора

Практическая значимость результатов работы определяется тем, что предложенные методы борьбы с помехами, а также методы построения антенн могут быть непосредственно использованы в системах связи с увеличенной

помехоустойчивостью. В частности, предложенные технические решения в области создания многолучевых антенн, позволяют удерживать приемник (или передатчик) в высоконаправленном луче, тем самым увеличивая отношение сигнал/шум. А разработанные методы пеленгации позволяют оценивать пеленг передатчика, и использовать в дальнейшем эту информацию для выбора оптимального в данной ситуации луча. Управляемый метаматериал может быть использован для создания реконфигурируемых антенн (например, динамически изменяющих форму диаграммы направленности), что также применимо при создании помехоустойчивых систем связи. Кроме того, разработанные векторные антенны могут быть частью конструкции управляемого метаматериала, тем самым уменьшая необходимые место и затраты для создания комплексного устройства.

По результатам диссертационного исследования получены патенты на изобретения №2593910 «Антенна Вивальди с печатной линзой на единой диэлектрической подложке», №2757866 «Антенная решётка на радиальном волноводе», №2795995 «Векторная антенна». Полученные в диссертационной работе результаты внедрены АО НПП «Автоматизированные системы связи» (г. Воронеж), АО НВП «ПРОТЕК» (г. Воронеж), АО «НКТБ «Феррит» (г. Воронеж), АО «Электросигнал» (г. Воронеж). Также результаты работы внедрены в образовательный процесс ФГБОУ ВО «ВГТУ» в дисциплину «Системы подвижной радиосвязи».

7. Рекомендации по использованию результатов и выводов, приведенных в диссертации

Основные положения и выводы диссертационной работы, в силу отмеченной выше научной и практической значимости отдельных результатов, могут найти применение:

- в заказывающих подразделениях и научно-исследовательских организациях МО, МВД, МЧС, ФСО, ФСБ, других Государственных заказчиков;
- в АО «Концерн «Созвездие», АО НКТБ «Феррит», АО НПП «Автоматизированные системы связи», АО НВП «Протек», АО НПО «РИФ», АО «ВНИИ «Вега» и других предприятиях и организациях России, специализирующихся в области разработки оборудования радиосвязи.

Считаем целесообразным, кроме того, использование научных результатов диссертации в учебном процессе учреждений высшего образования при подготовке аспирантов, магистров, специалистов и бакалавров в области телекоммуникаций.

Рекомендуется продолжение работ в данном направлении.

8. Замечания

1. В параграфе 2.3 рассматриваются всего три простейших функции зависимости радиуса ВАР от частоты. Потенциально лучшим решением представляется использование нелинейных функций, например, степенных.

2. В параграфе 2.1 подробно не описаны структуры моделей тела пользователя и мобильного телефона, поэтому не совсем понятно, насколько точными они были, следовательно, неясно, можно ли доверять полученным результатам моделирования

3. В параграфе 2.1 речь идет о методах поиска минимума целевой функции, таких как метод Левенберга-Марквардта и метод сопряженных градиентов. Данные методы требуют задания начальных условий поиска. Из каких соображений выбирались эти условия?

4. В диссертации не представлены результаты измерения согласования изготовленного макета многолучевой антенны на основе полусферической линзы с системой облучателей, что затрудняет верификацию результатов численного моделирования.

5. Применение разработанного управляемого метаматериала для создания реконфигурируемых антенных устройств приводит к очень сложной и дорогой конструкции. Возникает вопрос о целесообразности использования такого устройства.

6. Рисунки в параграфе 2.4 сложны для зрительного восприятия. Также, в тексте диссертации не приводится объяснение причины таких флуктуаций значений пеленгов.

Несмотря на отмеченные недостатки, общая оценка работы положительная.

9. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным положением о присуждении ученых степеней

Диссертационная работа Фёдорова Сергея Михайловича «Синтез многолучевых антенных систем с физическими и виртуальными элементами для улучшения помехоустойчивости радиоэлектронной аппаратуры» соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней и является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи, имеющей значение для развития соответствующей отрасли знаний, а

именно – задачи создания помехоустойчивых систем связи на основе многолучевых антенн, состоящих из виртуальных и физических элементов.

Результаты исследований апробированы на российских и международных научных конференциях.

Основные результаты диссертационной работы в достаточной степени отражены в опубликованных автором научных трудах, в том числе – в рецензируемых научных изданиях, входящих в соответствующий Перечень. Уровень и объем публикаций соответствует требованиям п. 11 и п. 13 Положения.

По результатам рассмотрения диссертации не обнаружены какие-либо факты использования заимствованных материалов без ссылки на источники, т.е. диссертация соответствует требованиям п. 14 Положения.

Автореферат диссертации, в целом, достаточно полно отражает ее содержание и соответствует требованиям п. 25 Положения.

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

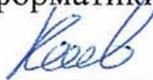
Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании кафедры радиоэлектронных систем ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики» 27 августа 2025 г., протокол № 1.

На заседании присутствовало 15 сотрудников кафедры, из них 5 докторов наук. Результаты голосования «за» - 15, «против» - нет, «воздержались» - нет.

Лица, подписавшие заключение, согласны с включением своих персональных данных в аттестационное дело соискателя Фёдорова С.М. и их дальнейшей обработкой.

Отзыв составил:

Доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой радиоэлектронных систем Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики» (ПГУТИ)



Клюев Дмитрий Сергеевич