

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора физико-математических наук, доцента РАЗИНЬКОВА Сергея Николаевича на диссертацию СБИТНЕВА Никиты Сергеевича на тему «Неоднородные диэлектрические структуры для улучшения характеристик сверхширокополосных излучателей» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4 – Радиофизика

Актуальность темы диссертационных исследований. Приоритетные направления развития радиоэлектронных технологий, определенные Международной концепцией построения информационно-телекоммуникационных систем, связаны с использованием сверхширокополосных (СШП) сигналов.

К СШП относятся сигналы с протяженностью спектра, превышающей 50% значения центральной частоты. Их разнообразность, обеспечивающая высокие показатели информативности радиофизических процессов и разрешения за счет малой по сравнению с характерными размерами излучающей (приемной) антенны пространственной длительности, образует класс СШП сверхкоротких импульсов.

В Отчетных докладах Президиума Российской академии наук за последние годы неоднократно отмечалось, что исследования в области СШП технологий открывают возможности реализации принципиально новых радиофизических способов и устройств обработки волновых процессов.

За счет применения СШП сигналов может осуществляться оперативное опознавание радиолокационных целей на основе комплексного анализа их отражающих свойств в различных участках диапазона частот и некоординатной информации о доминирующих центрах вторичного электромагнитного излучения, недоступной для узкополосных радаров. В радиолиниях достигается значительный (до $10^{11} \dots 10^{12}$ бит/с·Гц) объем передаваемых сообщений при одновременном использовании нескольких частот спектра. Вследствие малой спектральной плотности мощности СШП сигналов, обусловленной распределением энергии на значительном интервале частот, обеспечивается электромагнитная совместимость, помехозащищенность и скрытность функционирования радиоэлектронных средств. С помощью сети опорных СШП радиостанций возможно высокоточное позиционирование абонентов на пересеченной местности, в условиях городской застройки и внутри зданий, где ввиду многолучевого распространения радиоволн затруднено функционирование глобальной спутниковой навигационной системы GPS.

Эффективность передачи и приема сигналов в значительной степени зависит от характеристик антенных систем, которые определяют энергетический потенциал радиоканала, возможности адаптивного управления пространственно-частотными свойствами приемопередающих устройств и режекции помех.

Особенность СШП сигналов заключается в том, что их излучение и прием интегрированы с временной обработкой. Поэтому направленные свойства приемоизлучающих структур зависят от вида и частотно-временных параметров сигналов, а принцип эквивалентности характеристик антенны в режиме передачи и приема не выполняется.

При передаче сигналов осуществляется преднамеренная трансформация их формы и частотно-временных параметров для усиления плотности потока излучаемой энергии в заданных направлениях на определенных участках спектра. В приемных системах требуется минимизировать искажения стороннего поля в интересах уменьшения потерь содержащейся в нем информации.

Ввиду комплексного характера процедур формирования и передачи в пространстве СШП сигналов, антенны, диаграммообразующие схемы (ДОС) и распределительные линии необходимо рассматривать как новые единые радиофизические устройства пространственно-временной обработки негармонических волновых процессов – СШП излучающие и приемные структуры.

При этом существенное значение приобретают вопросы формирования диаграмм направленности, обеспечивающих требуемые дальности передачи-приема сигналов при исключении секторов рабочих углов, опасных для воздействия помех, а также построения диапазонных ДОС для многолучевых и сканирующих СШП излучателей

Отличительная особенность СШП приемоизлучающих структур состоит в том, что их направленные свойства необходимо улучшать без существенного увеличения электрических размеров. Поскольку габариты структур охватывают резонансную и квазиоптическую области, эффективное решение данной задачи может быть получено за счет введения неоднородных диэлектрических компонентов.

Методические основы построения приемоизлучающих структур с высокими коэффициентами усиления (КУ) и оптимизированными формами диаграмм направленности на базе совместного применения диэлектрических линз и СШП излучателей представлены в работах докторов технических наук Авдеева В.Б., Ашихмина А.В., Зернова Н.В., Пастернака Ю.Г.

Однако пути улучшения направленных свойств СШП приемоизлучающих структур, как правило, обосновываются без учета степени возможного ухудшения согласования с распределительными линиями. При исследовании неоднородных диэлектрических структур отсутствует систематизация способов достижения требуемой диэлектрической проницаемости среды.

Методы повышения КУ и снижения уровня боковых лепестков диаграмм направленности СШП антенных систем представлены в работах докторов технических наук Бахраха Л.Д., Воскресенского Д.И., Кашина В.А., Обуховца В.А.

Однако при минимизации среднеквадратических отклонений требуемых и формируемых диаграмм направленности с использованием указанных методов подавление среднего уровня боковых лепестков приводит к значительным потерям КУ. В результате эффективность передачи-приема СШП сигналов, характеризующихся распределением энергии по спектру значительной протяженности при малой средней мощности, оказывается низкой. При этом не решаются задачи миниатюризации приемоизлучающих структур и ДОС.

В трудах докторов технических наук Абраменкова В.В., Васильченко О.В., Савинова Ю.И. представлены методы синтеза многолучевых и сканирующих СШП излучателей; обоснованы технические решения по их созданию на базе на основе одного излучателя с широким диапазоном углов сканирования.

Однако при использовании указанных подходов управление диаграммами направленности антенн сопровождается искажениями пространственно-временного распределения излучаемых (принимаемых) сигналов. Данное обстоятельство затрудняет формирование и негативно сказывается при реализации оптимальных процедур обнаружения и оценки параметров СШП сигналов.

Таким образом, дальнейшие исследования методов улучшения направленных свойств и расширения диапазона рабочих частот СШП излучателей сохраняют практическую значимость. Поэтому тема диссертационного исследования Сбитнева Н.С. «Неоднородные диэлектрические структуры для улучшения характеристик СШП излучателей», посвященного решению указанной задачи с использованием пространственных диэлектрических структур, является актуальной.

Степень обоснованности научных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации. В диссертации на основании выполненных автором исследования решена научная задача разработки методик теоретического и экспериментального исследования пирамидального ТЕМ-рупора с неоднородным диэлектрическим заполнением для передачи-приема СШП сигналов

Содержание работы, раскрывающее суть представленных в ней научных результатов, сформулированных на их основе выводов и рекомендаций, изложено в четырех главах.

В первой главе диссертации проведен анализ электромагнитного поля апертурного излучателя, для количественной оценки которого предложено использовать новую характеристику – частотный диапазон по КУ.

Построена модель ТЕМ-рупора и проведен анализ электромагнитного поля в его апертуре. Показано, что поле внутри ТЕМ-рупора можно с достаточной степенью точности рассматривать как поле сферической волны, распространяющейся из фазового центра.

Во второй главе диссертации доказана научная гипотеза о возможности расширения рабочего диапазона частот по КУ за счет применения неоднородного диэлектрического заполнения между лепестками рупора. Получены аналитические выражения для распределения диэлектрической проницаемости в пространстве.

Показано, что улучшение характеристик ТЕМ-рупора может быть достигнуто вследствие минимизации разницы фаз электромагнитного поля в его апертуре. Обоснована процедура трансформации волнового фронта при компенсации времени распространения от фазового центра до плоскости раскрытия излучателя путем замедления скорости распространения.

В третьей главе диссертации представлен метод формирования неоднородных диэлектрических структур с заданной проницаемостью на основе трехмерной FDM печати слоистых сред. Требуемая диэлектрическая проницаемость достигается комбинацией смеси двух диэлектриков: воздуха и полистирола.

Приведены описания процессов создания диэлектрического заполнения с пространственной зависимостью диэлектрической проницаемости внутри пространства ТЕМ-рупора и измерения характеристик излучателя.

В четвертой главе диссертации разработана модель многолучевого излучателя на основе ТЕМ-рупора, дополненного линзой Люнеберга.

Показано, что предложенный СШП излучатель позволяет менять направление главного лепестка диаграммы направленности путем переключения входов, каждый из которых соответствует фиксированному направлению. При одновременной запитке нескольких входов возможно формирование диаграммы направленности с несколькими главными лучами.

Тематика диссертации Сбитнева Н.С. соответствует направлениям исследований, определенным паспортом специальности 1.3.4 – Радиофизика:

- по пункту 2 (в части изучения процессов излучения, распространения и трансформации волн в естественных и искусственных средах);

- по пункту 3 (в части разработки и исследования новых электродинамических систем и устройств формирования и передачи радиосигналов: волноводов и антенных систем в радиодиапазоне).

К числу основных научных результатов, полученных автором на основании выполненных исследований, относятся:

- аналитические выражения для характеристики неоднородных диэлектрических сред со ступенчатым изменением диэлектрической проницаемости;

- модель и экспериментальные характеристики структуры неоднородных диэлектрических сред для заполнения пространства между лепестками ТЕМ-рупора, обеспечивающие улучшение характеристик излучения СШП сигналов и согласования ТЕМ-рупора с распределительной линией за счет трансформации волнового фронта в его раскрыве;

- методика формирования неоднородных диэлектрических структур с пространственным распределением диэлектрической проницаемости при наличии воздушных полостей с характеристиками, полученными на основе закона Лихтенеккера;

- модель многолучевого ТЕМ-рупора для конструкции из СШП излучателя с входами, соответствующими фиксированным частотно-независимым направлениям излучения, и цилиндрической линзы Лунеберга.

Высокая степень обоснованности научных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных автором, определяется тем, что они получены с использованием современных методов теории волновых процессов, электродинамики, математического моделирования и статистической обработки радиоизмерений.

Достоверность и новизна научных результатов, выводов и рекомендаций. Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, обеспечивается:

- применением теоретически обоснованных и прошедших апробацию методов исследования; использованием сертифицированных средств для проведения вычислительных и натуральных экспериментов;

- корректным выбором ограничений, допущений и исходных данных из практики разработки ТЕМ-рупоров и радиофизических устройств передачи-приема СШП сигналов.

Она подтверждается ясной физической трактовкой выявленных эффектов, их соответствием общим физическим закономерностям, совпадением результатов теоретических исследований с данными, полученными в ходе эксперимен-

тов и натурных испытаний макетов антенн. Частные результаты исследования, использованные для выполнения контрольных расчетов по разработанным методам, согласуются с результатами, содержащимися в работах других авторов.

Теоретическое обоснование полученных результатов проводилось на основе фундаментальных положений теории волновых процессов и электродинамики. Экспериментальные данные получены с использованием стандартных методик измерения характеристик и параметров волноводных структур, сертифицированных измерительных устройств и программных средств обработки измерительной информации.

Новизна научных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в работе, состоит в получении аналитических выражений для неоднородных диэлектрических сред со ступенчатым изменением диэлектрической проницаемости, разработке методики формирования неоднородных диэлектрических структур с заданным значением диэлектрической проницаемости, а также в создании модели многолучевого СШП излучателя, дополненного цилиндрической линзой Лüneберга. Область применимости результатов исследования может быть расширена для различных классов СВЧ-устройств, где требуется распространение электромагнитных волн в разных направлениях.

Использование разработанного для исследований аппарата позволяет расширить теоретические знания, касающиеся процессов излучения, распространения и трансформации волн в естественных и искусственных средах, разработки и исследования электродинамических систем и устройств формирования и передачи радиосигналов.

Предложенные автором решения строго аргументированы и критически оценены по сравнению с другими известными результатами в области электродинамического анализа СШП антенн.

Теоретическая значимость работы определяется тем, что представленные в ней методики расширяют возможности рационального выбора топологии конструкций и позволяют проектировать СШП излучатели, сохраняющие свои направленные свойства в диапазоне частот, при ограничениях на габариты конструкций.

Основные результаты диссертации прошли широкую апробацию на международных и всероссийских научных форумах по тематике исследования и в полной мере опубликованы в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией. В перечне опубликованных работ 17 научных трудов, включая 2 статьи из Перечня Высшей аттестационной комиссии и 6 статей, индексированных в международных базах цитирования Scopus и Web of Science.

Ценность работы для практики заключается в обосновании технических путей построения и технологий достижения высоких тактико-технических характеристик электродинамических систем и устройств формирования и передачи СШП сигналов.

Представленные в диссертации методики анализа ТЕМ-рупора с диэлектрическим заполнением обеспечивают высокую точность определения показателей эффективности передачи-приема сигналов, что, в свою очередь, позволяет снизить ресурсные и временные затраты на изготовление опытных образцов, экс-

периментальные исследования, доводку и настройку устройств передачи-приема СШП сигналов.

Практическая значимость результатов, полученных автором, подтверждается по их реализацией в организациях федеральных органов исполнительной власти Российской Федерации при разработке перспективных радиофизических устройств.

Замечания и недостатки диссертационной работы. К числу основных замечаний и недостатков работы, на наш взгляд, относятся следующие.

1. Диссертации в явном виде не сформулирована задача диссертационного исследования; ее косвенно можно установить из формулировки цели работы. Авторские оценки научной новизны полученных результатов целесообразно уточнить, более детально раскрыв методические аспекты выполненных исследований.

2. При анализе рупоров с диэлектрическим заполнением желательно по аналогии с рисунками 1.7 и 1.8 привести графики, отображающие количественные показатели трансформации волнового фронта.

3. В ряде случаев в работе нарушается методическое единство представления результатов. В третьей главе диссертации диаграммы направленности ТЕМ-рупора с диэлектрическим заполнением, полученные в ходе экспериментальных исследований, приведены в нормированном виде в полярных координатах, что усложняет их сравнение с аналогичными зависимостями, представленными в предыдущих главах без соответствующей нормировки.

4. Отдельные фрагменты диссертации перегружены детальным освещением частных вопросов, не имеющих непосредственного отношения к решаемой автором научной задаче. Без ущерба для достижения цели они могут быть исключены из текста или по желанию автора вынесены в приложения к работе.

Вместе с тем, отмеченные недостатки, непосредственно не охватывающие основные научные результаты и положения, выдвигаемые для защиты, не снижают общего позитивного впечатления от работы и не ставят под сомнение ее положительную оценку.

Автореферат правильно отражает содержание диссертации. В нем в лаконичной форме ясно изложены основные идеи и выводы по работе, показаны определяющий вклад соискателя в проведенные исследования, степень новизны и практическая значимость результатов.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней. На основе анализа диссертации Сбитнева Н.С. «Неоднородные диэлектрические структуры для улучшения характеристик СШП излучателей» сделаны следующие выводы.

1. Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решена научная задача, имеющая значение для исследования процессов излучения, распространения и трансформации волн в естественных и искусственных средах, а также разработки электродинамических систем и устройств формирования и передачи СШП сигналов. Тема исследования соответствует направлениям, определенным пунктами 1, 2 паспорта специальности 1.3.4 – Радиофизика.


2. Диссертация является завершенной научной работой, обладающей внутренним единством, содержит новые научные результаты, нашедшие практическое использование при исследовании и разработке новых электродинамических систем и устройств формирования и передачи СШП сигналов и свидетельствующие о личном вкладе автора в науку. Предложенные соискателем решения строго аргументированы и оценены в сравнении с известными аналогами.

3. Работа удовлетворяет требованиям Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Сбитнев Н.С., достоин присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4 – Радиофизика.

Согласен с включением моих персональных данных в аттестационное дело соискателя Сбитнева Н.С. и их дальнейшей обработкой.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, доцент,
доцент кафедры автоматизации управления
летательными аппаратами (и вычислительных систем)
Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил
«Военно-воздушная академия имени профессора
Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)



Разиньков Сергей Николаевич

«25» ноября 2022 года

Подпись Разинькова С.Н. заверяю

Помощник начальника строевого отдела
Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил
«Военно-воздушная академия имени профессора
Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

«25» ноября 2022 года


А.Саввин

Сведения об оппоненте:

Разиньков Сергей Николаевич, гражданин Российской Федерации, доктор физико-математических наук по специальностям 01.04.03 – Радиофизика, 05.12.07 – Антенны, СВЧ-устройства и их технологии, доцент, доцент кафедры автоматизации управления летательными аппаратами (и вычислительных систем) федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж) Министерства обороны Российской Федерации.

Адрес: 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54а

Телефон: 8-(473)-244-78-29; E-mail: razinkovsergey@rambler.ru