



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

№ \_\_\_\_\_

На № \_\_\_\_\_

от \_\_\_\_\_

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе,  
доктор технических наук, профессор

О.В. Горячкин

2022 г.



ОТЗЫВ

федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Поволжский государственный университет телекоммуникации и информатики» на диссертацию Сбитнева Никиты Сергеевича «Неоднородные диэлектрические структуры для улучшения характеристик сверхширокополосных излучателей», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4 - «Радиофизика».

В настоящее время исследование излучателей сверхширокополосных (СШП) сигналов является важной задачей, имеющей большое практическое значение при разработке радиотехнических систем. Одним из наиболее распространенных типов являются апертурные излучатели. В литературе описаны различные подходы к их синтезу и анализу. Зачастую для улучшения их характеристик варьируются размеры и форма раскрыва. Такой подход, несмотря на свою простоту, не редко ограничен в применимости, особенно когда присутствуют жесткие требования, предъявляемые к размеру излучателей. В представленной диссертации для улучшения характеристик излучателя применяются неоднородные диэлектрические структуры, что позволяет существенно расширить частотный диапазон и предотвратить искажения диаграммы направленности. Таким образом, задачи,

сформулированные в диссертации **актуальны**, а результаты исследований представляют научный интерес.

На примере ТЕМ-рупора в работе изложены подходы к улучшению характеристик апертурных СШП излучателей. Предлагается применение неоднородных диэлектрических структур, что позволяет расширить диапазон рабочих частот при сохранении размеров излучателя. Особую ценность представляет исследованный, разработанный и реализованный метод изготовления таких структур с заданным законом распределения диэлектрической проницаемости с использованием однородного диэлектрика с полостями. Предложенные методы улучшения характеристик излучателей могут быть применены и к другим апертурам. Диссертация состоит из четырех глав, введения и заключения.

В первой главе автором проводится анализ электромагнитного поля ТЕМ-рупора. Фронт волны внутри рупора может быть с высокой точностью считаться сферическим. Это позволяет отойти от решения сложных дифференциальных уравнений и рассматривать поле в приближении геометрической оптики. Вводится важная характеристика - рабочий диапазон частот по диаграмме направленности. Показано, что размеры антенны связаны с максимальной и минимальной длинами излучаемых волн. Выяснено, что частотный диапазон по коэффициенту усиления ограничен сверху начиная с некоторой частоты из-за наблюдаемого набега фаз на краях лепестков антенны. Это приводит к искажению и последующему распаду главного лепестка ДН. В то же время присутствует ограничение в нижнем частотном диапазоне, которое обусловлено отсутствием условий для излучения ТЕМ волны.

Во второй главе предлагается процедура трансформации волнового фронта из сферического в плоский с помощью диэлектрического заполнения, проницаемость которого зависит от направления распространения луча из фазового центра. Выводятся аналитические выражения для распределения диэлектрической проницаемости в таких средах, проведено электродинамическое моделирование для различных случаев. Данное моделирование показывает существенное улучшение характеристик исследуемого рупора, в частности, предотвращается распад диаграммы направленности на частотах более 15 ГГц. Большой интерес представляет предложенная модель диэлектрического заполнения, составленная из косоугольных пирамид с различной диэлектрической проницаемостью.

Третья глава диссертации посвящена практической реализации диэлектрической среды с неоднородным распределением проницаемости. Подробно описывается метод трехмерной печати материалов с заданной проницаемостью. В основе метода лежит формула Лихтенеккера, также известная как логарифмический закон смешения. В конце главы автором

приводится экспериментальное исследование изготовленного ТЕМ-рупора с диэлектрическим заполнением. Результаты экспериментов хорошо совпадают с результатами моделирования.

В четвертой главе описана модель многолучевого СШП излучателя на основе ТЕМ-рупора с модифицированной линией запитки. Такой излучатель дополняется линзой Люнеберга, что обеспечивает частотную независимость угла поворота главного лепестка диаграммы направленности.

**Научная новизна** диссертации заключается в получении аналитических выражений для неоднородных диэлектрических сред со ступенчатым изменением проницаемости, во введении количественной характеристики и методики ее измерения для оценки диапазона частот, на котором диаграмма направленности излучателя не испытывает искажений. Важной является разработанная методика формирования неоднородных диэлектрических структур с заданным значением диэлектрической проницаемости для приложений СВЧ диапазона.

**Достоверность результатов** работы доказывается корректным применением соответствующих физических и математических моделей и методов. Все полученные аналитически выражения были подтверждены с помощью численных электродинамических моделей и затем экспериментально. Все, наблюдаемые в ходе экспериментов и моделирования, эффекты и закономерности систематически воспроизводимы.

**Теоретическая и практическая значимость** полученных результатов диссертации заключается в развитии методов улучшения характеристик СШП излучателей. Рассмотренные на примере ТЕМ-рупора подходы к анализу характеристик излучения и, основанные на этом, способы синтеза излучателей с заданными характеристиками могут быть применены к другим типам апертурных излучателей. Также представленный в работе многолучевой излучатель может найти широкое практическое применение.

Результаты исследования, приведенные в диссертации, могут быть использованы при разработке систем радиосвязи и радиолокации.

**Автором опубликовано** 17 научных работ по теме исследования, из них 2 входят в перечень ВАК РФ и 6 в МБД Scopus и Web of Science.

**Автореферат достаточно полно** отражает материалы диссертации и соответствует ее содержанию.

Следует отметить ряд недостатков диссертационной работы:

1. В диссертации формулы, описывающие неоднородные диэлектрические структуры, выводятся исходя из геометрических соображений. При выводе закона распределения диэлектрической проницаемости их точность следовало бы оценить исходя из решения уравнений Максвелла или уравнения эйконала. Это могло бы служить

дополнительным подтверждением предлагаемых в работе методов улучшения характеристик.

2. В четвертой главе предложен многолучевой рупорный излучатель. Однако в работе приводятся только результаты его численного моделирования. Логичным завершением четвертой главы выглядела бы экспериментальная реализация и исследование многолучевого излучателя.

3. В работе не приведен литературный обзор существующих моделей многолучевых излучателей, схожих с предложенным в четвертой главе.

### Заключение


Несмотря на указанные выше недостатки, диссертация Сбитнева Никиты Сергеевича «Неоднородные диэлектрические структуры для улучшения характеристик сверхширокополосных излучателей» удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям ВАК, ее содержание соответствует специальности 1.3.4 - «Радиофизика», а Сбитнев Никита Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании кафедры радиоэлектронных систем ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики» 15 ноября 2022 г., протокол № 4.

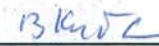
На заседании присутствовало 23 сотрудника кафедры, из них 8 докторов наук. Результаты голосования «за» - 23, «против» - нет, «воздержались» - нет.

Отзыв составили:

Кандидат физико-математических наук, доцент, заместитель заведующего кафедрой радиоэлектронных систем (РЭС) Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики» (ПГУТИ)


 Вороной Андрей Андреевич

Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры РЭС ПГУТИ

 Кубанов Виктор Павлович

Доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры РЭС ПГУТИ

Сделан документальный фотокопированный экземпляр  
И.В. Плеханова  
начальник ОДО ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики»  
22.11.2022

 Артыков Алексей Сергеевич

*Горячкин Олег Валерьевич*, доктор технических наук (научная специальность: 05.12.04 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения), профессор, проректор по научной работе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики»

Служебный адрес: 443010, г. Самара, ул. Льва Толстого, д. 23

Тел. раб.: (846) 332-21-61

E-mail: [o.goryachkin@psuti.ru](mailto:o.goryachkin@psuti.ru)

*Вороной Андрей Андреевич*, кандидат физико-математических наук (научная специальность: 01.04.03 – Радиофизика), доцент, заместитель заведующего кафедрой радиоэлектронных систем Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики»

Служебный адрес: 443010, г. Самара, ул. Льва Толстого, д. 23

Тел. раб.: (846) 332-58-53

E-mail: [a.voronoy@psuti.ru](mailto:a.voronoy@psuti.ru)

*Кубанов Виктор Павлович*, доктор технических наук (научная специальность: 05.12.07 – Антенны, СВЧ-устройства и их технологии), профессор, профессор кафедры радиоэлектронных систем Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики»

Служебный адрес: 443010, г. Самара, ул. Льва Толстого, д. 23

Тел. раб.: (846) 332-58-53

E-mail: [kubanov-vp@psuti.ru](mailto:kubanov-vp@psuti.ru)

*Арефьев Алексей Сергеевич*, доктор физико-математических наук (научная специальность: 01.04.03 – Радиофизика), доцент, профессор кафедры радиоэлектронных систем Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики»

Служебный адрес: 443010, г. Самара, ул. Льва Толстого, д. 23

Тел. раб.: (846) 332-58-53

E-mail: [arefyev.as@inbox.ru](mailto:arefyev.as@inbox.ru)