



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ «ВЕКТОР»
ПРЕДПРИЯТИЕ КОНЦЕРНА «ВЕГА»

ОКПО 07525192 ОГРН 1117847020400 ИНН 7813491943 / КПП 781301001
Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Академика Павлова, д. 14а, 197376,
Тел: +7 (812) 295-10-97, факс: +7 (812) 591-72-74
E-mail: nii@nii-vektor.ru, web: www.nii-vektor.ru

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор

С. В. Скорых

«...» сентября 2020 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу

Александрина Антона Михайловича «Широкополосные антенные решётки с использованием структур из искусственного неоднородного диэлектрика», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.07 – «Антенны, СВЧ устройства и их технологии»

Актуальность темы диссертационной работы. В настоящее время происходит интенсивное освоение миллиметрового диапазона длин волн, направленное на увеличение пропускной способности каналов передачи информации, развитие широкополосных средств связи и радиолокации. Активно развиваются программы широкополосного доступа в Интернет в *Ka*-диапазоне. Расширяется и необходимость использования широкополосных средств радиомониторинга и радиоизмерений. Эффективность таких систем не в последнюю очередь определяется используемыми антеннами.

Широкое распространение данных систем предъявляет определённые требования к их антенным устройствам, которые должны быть широкополосными, компактными, позволять лёгкий монтаж и развёртывание, иметь низкую стоимость.

Для решения данных проблем возможно использование антенных решеток с небольшим количеством излучателей, содержащих дополнительные фокусирующие элементы из искусственного неоднородного диэлектрика. Такие антенные решетки могут работать в широкой полосе частот за счёт эффективного подавления дифракционных лепестков.

Всё вышеизложенное обуславливает **актуальность** работ, связанных с исследованием методов создания широкополосных направленных антенн с использованием искусственного неоднородного диэлектрика, обладающих компактными размерами.

Содержание диссертации. Во *введении* приведены обоснование актуальности темы, постановка проблемы, сформулированы цели и задачи диссертационного исследования, приведены защищаемые положения, изложена научная новизна и практическая значимость работы.

В *первой главе* рассмотрены литературные источники по теме исследования. Кратко рассмотрены основные параметры известных типов широкополосных антенн и антенных решеток. Приведён обзор основных способов реализации неоднородных сред, указаны их достоинства и недостатки.

Также в первой главе рассматриваются диэлектрические линзы различных типов с целью сравнения их по критериям минимальных продольных размеров и предельно достижимого коэффициента использования поверхности.

Вторая глава посвящена исследованию структур из искусственного неоднородного диэлектрика, предназначенных для применения в составе антенных решеток.

Предложен способ создания радиально-неоднородного диэлектрика, заключающийся в замене неоднородной среды набором тонких звездообразных слоёв однородного диэлектрика, предложено рассмотрение такой структуры в виде двумерного фотонного кристалла. Проведено численное моделирование предложенной структуры в программе CST Studio Suite с целью установления предельных параметров разбиения линзы из неоднородного диэлектрика на слои и «лепестки», которые при минимальном их количестве обеспечивают максимально возможный коэффициент использования поверхности.

Третья глава посвящена рассмотрению влияния диэлектрических оправ на характеристики линз из неоднородного диэлектрика. При выполнении исследований обнаружен эффект периодической зависимости коэффициента направленного действия таких структур от ширины оправы. Проведённые численные и экспериментальные исследования позволяют объяснить данный эффект наличием волноводных мод электромагнитной волны в диэлектрических оправках линзовых антенн.

В *четвертой главе* приведены результаты исследований антенных решеток с использованием линз из искусственного неоднородного диэлектрика. При помощи численного моделирования проведено сравнение некоторых типов широкополосных облучателей, способных работать с линзой. Среди них

широкополосный вибратор-«бабочка», «бабочка» с короткозамыкающими шлейфами, плоские логопериодические и спиральные антенны.

В ходе исследования установлено, что необходимыми характеристиками согласования и направленности обладают печатные излучатели на основе частотно-независимых структур, например, вибратор-«бабочка», питаемый двухпроводной полосковой линией. Такой тип питания позволяет обойтись без дополнительных элементов подвода мощности, ухудшающих согласование (штырей, сквозных металлизированных отверстий и т. п.).

В *пятой главе* приводятся результаты численного моделирования и экспериментальных исследований различных конфигураций антенных решеток. Модель антенной решетки с линзами исследовалась в двух конфигурациях: с полностью полосковой и с гибридной диаграммообразующими схемами.

По результатам расчётов и численного моделирования можно сделать вывод о том, что применение линз из неоднородного диэлектрика в составе широкополосных антенных решеток позволяет обеспечить высокий апертурный коэффициент использования поверхности в широкой полосе частот, а применение гибридной диаграммообразующей схемы — улучшить согласование и снизить потери в ней.

Приведены результаты экспериментальных исследований макетов излучающих структур на основе линз из неоднородного диэлектрика. Фокусирующие свойства линзы из неоднородного диэлектрика, набранной из тонких фигурных слоёв, подтверждены экспериментально при помощи макета излучателя.

Экспериментально исследована антенная решетка 8×8 с гексагональным расположением элементов.

В целом эксперименты подтвердили данные расчётов и моделирования, продемонстрировали работу антенных решеток в широкой полосе частот при высоких значениях коэффициента использования поверхности.

В *заключении* изложены основные научные и практические результаты работы.

Научная новизна полученных автором результатов, выводов и рекомендаций.

Научная новизна результатов, полученных автором, состоит в следующем:

- 1) Предложен простой метод реализации радиально-неоднородного искусственного диэлектрика, позволяющий изготавливать линзовые антенны на его основе (получен патент РФ);

2) Предложен метод создания широкополосных антенных решеток с гибридной диаграммообразующей схемой, использующий структуры из искусственного неоднородного диэлектрика и позволяющий обеспечить работу антенных решеток в широкой полосе частот, достичь высоких значений коэффициента использования поверхности при компактной плоской форме антенной системы.

3) Обнаружен эффект периодической зависимости коэффициента использования поверхности линзы из неоднородного диэлектрика от ширины диэлектрической оправы, в которой размещена линза. Установлено, что период данной зависимости определяется значением диэлектрической проницаемости материала оправы и не зависит от радиуса и материала линзы.

4) Установлена гиперболическая зависимость положения максимума коэффициента использования поверхности от диэлектрической проницаемости материала оправы линзы из неоднородного диэлектрика.

Значимость и достоверность результатов работы. Диссертационная работа имеет высокую практическую значимость. Основные результаты выполнения диссертационной работы, получены при выполнении опытно-конструкторских работ в СПбГЭТУ «ЛЭТИ» (г. Санкт Петербург) и в ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» (г. Красноярск), что подтверждается актами внедрения.

Диссертационная работа основывается на корректном использовании современных САПР, апробированных экспериментальных методик и высокоточного оборудования. Результаты работы являются воспроизводимыми, результаты моделирования и экспериментальные количественно совпадают.

По материалам диссертации получен патент РФ, опубликовано 11 научных работ, включая 6 статей в рекомендованных ВАК РФ изданиях, 2 в сборниках материалов, индексируемых в базе Scopus.

Замечания по работе

В ходе обсуждения работы выявились следующие недостатки:

1. Не приведено сравнений характеристик линз, изготовленных предложенным способом с линзами, изготовленными другими известными способами, на этот счёт даны лишь рассуждения о преимуществах и недостатках известных методов реализации неоднородного диэлектрика;
2. При исследовании влияния оправы на характеристики линз не дано никаких предложений по методам расширения рабочей полосы частот линзы с оправой;
3. Не уделено должного внимания исследованиям влияний погрешностей изготовления искусственной неоднородной среды на параметры антенны.

4. По оформлению диссертации имеются замечания, такие как: ссылки на рисунки не совпадают с их номерами, недостаточное описание к большому количеству рисунков в разделах 5.3 и 5.4. и пр.

Перечисленные замечания не снижают высокую оценку диссертационной работы и ее значимость в решении задачи создания широкополосных антенных систем с использованием неоднородного диэлектрика.

Заключение

Диссертационная работа соответствует требованиям пунктов 9-14 «Положения» о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года, №842 (ред. от 28.08.2017, №1024), так как является законченной самостоятельной научно-исследовательской работой, содержащей решение актуальной задачи разработки широкополосных антенных систем с использованием неоднородного диэлектрика.


Учитывая вышеизложенное, считаем, что Александрин Антон Михайлович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.07 – Антенны, СВЧ устройства и их технологии.

Отзыв на диссертационную работу обсужден на заседании Научно-технического центра - 6 АО «НИИ «Вектор» (протокол № 1 от «2» сентября 2020 г.)

Заместитель начальника Научно-технического центра - 6  М.Р. Уtimiшев

Отзыв подготовил:

Начальник НИЛ-602,
кандидат технических наук

 И.А. Сухов

Подписи М.Р. Уtimiшева, И.А. Сухова заверяю,

ВРИО руководителя управления
по работе с персоналом



М.В. Быков

Наименование организации	Акционерное общество «Научно-исследовательский институт «Вектор»
Почтовый адрес	Российская Федерация, 197376, г. Санкт-Петербург, ул. Академика Павлова, дом 14-а
E-mail	nii@nii-vektor.ru
Телефон	+7 (812) 295-10-97