

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Семерни Екатерины Игоревны

на диссертационную работу Чан Тиен Тханга

«Многолучевые антенны на базе градиентных и геодезических линз с осевой симметрией»,

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности

2.2.14 – «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии»

Диссертация Чан Тиен Тханга посвящена исследованию многолучевых антенн на основе линз с центральной и осевой симметрией. Многолучевые антенны позволяют повысить скорость и емкость систем беспроводных коммуникаций. Многолучевые антенны на основе линз с центральной и осевой симметрией наиболее перспективны в таких областях как мобильная связь 5G и дальнейших поколений, спутниковая связь, связь внутри помещений, системы радиолокации и радиомониторинга, в связи с чем задача расширения возможностей таких антенн является актуальной.

Диссертация состоит из Введения, четырех глав, Заключения, Списка литературы. Основные результаты диссертации изложены в 6 научных публикациях.

**Во Введении** обоснована актуальность темы, сформированы цели и задачи исследования, описаны научная новизна и практическая значимость диссертационной работы, приведено краткое описание работы, указан личный вклад соискателя.

**В главе 1** решена задача синтеза градиентной диэлектрической линзы с центральной симметрией в общей постановке, на основе которой разработана многолучевая антенна с П-образной формой диаграммы направленности (ДН) лучей в азимутальной плоскости.

В разделе 1.1 в приближении геометрической оптики решена задача синтеза градиентной диэлектрической линзы с центральной симметрией и оболочкой, которая преобразует поле точечного источника, расположенного в фокусе вне линзы или на ее поверхности в заданное геометрооптическое поле.

В разделе 1.2 разработана методика и решена задача синтеза антенны с заданной амплитудной ДН луча на основе градиентной диэлектрической линзы с центральной симметрией и оболочкой. В качестве примера разработана многолучевая планарная линзовая антенна с П-образной формой ДН лучей в азимутальной плоскости. Конструкция линзовой антенны представляет собой нерегулярную металлодиэлектрическую радиальную линию в виде двух параллельных металлических дисков, между которыми расположен набор концентрических диэлектрических колец из полистирола, толщина которых меняется вдоль радиуса по найденному закону. С использованием метода конечных элементов (МКЭ) в программной среде Ansys HFSS проведено моделирование планарной линзовой антенны диаметром 100 мм, толщиной 3.4 мм

с семью облучателями в виде открытого конца прямоугольного металлического волновода сечением 7.2x3.4 мм, формирующими семь лучей с относительным уровнем пересечения -0.4 дБ на частоте 27 ГГц, -1.3 дБ на частоте 30 ГГц и -2.4 дБ на частоте 33 ГГц. При этом абсолютный уровень пересечения соседних лучей меняется в пределах 14.4...15.0 дБ. В результате сектор обзора антенны в полосе частот 27–33 ГГц по уровню усиления 14.4 дБ превышает 100°.

**В главе 2** решена задача синтеза цилиндрической многослойной градиентной металлодиэлектрической линзы и на основе полученного решения разработаны и исследованы многолучевые антенны с полным азимутальным углом обзора без затенения апертуры антенны облучающей системой.

В разделе 2.1 разработана методика синтеза многослойной градиентной цилиндрической линзы, состоящей из набора слоев, каждый из которых представляет собой диэлектрический диск с градиентом коэффициента преломления вдоль радиуса. Диэлектрические диски расположены между металлическими дисками. Линза преобразует сферическую волну облучателя с вертикальной поляризацией – в локально плоскую волну. Методика синтеза основана на сведении трехмерной задачи к двумерной с заданным лучевым полем источника при условии равенства эйконолов центральных лучей в каждом слое цилиндрической многослойной линзы.

В разделе 2.2 на основе многослойной градиентной цилиндрической линзы с однородной и неоднородной оболочкой разработаны и исследованы многолучевые антенны с полным азимутальным сектором обзора без затенения апертуры антенны облучающей системой. Использованы два типа облучателей: пирамидальный металлический рупор и металлодиэлектрическая антенна бегущей волны на основе прямоугольного металлического волновода с диэлектрической вставкой. Путем численного моделирования с использованием МКЭ проведено исследование характеристик излучения антенны. Несмотря на неполное использование апертуры, антенна на основе многослойной градиентной цилиндрической линзы с однородной оболочкой обеспечивает уровень величины КИП в диапазоне 0.5 – 0.57, а с неоднородной оболочкой 0.55 – 0.61 в полосе частот 20%.

**В главе 3** исследованы геодезические линзы с плавным переходом к планарному волноводу. В общей постановке в приближении геометрической оптики решена задача синтеза металлодиэлектрической геодезической линзы с центральной симметрией, плавным переходом и оболочкой. На основе полученного решения разработаны три варианта многолучевой линзовой антенны и проведено исследование их характеристик излучения

В разделе 3.1 исследовано влияние формы плавного перехода на характеристики геодезической линзы в виде двух параллельных искривленных проводящих поверхностей. Рассмотрено пять вариантов плавного перехода и в результате численного моделирования с использованием МКЭ показано, что наилучшими характеристиками обладает геодезическая линзовая антенна с поликоническим плавным переходом.

В разделе 3.2 решена задача синтеза металлодиэлектрической геодезической линзы с центральной симметрией, плавным переходом и оболочкой, которая

преобразует поле цилиндрической волны источника в заданное геометрическое поле. На основе полученного решения разработаны три варианта геодезических линзовых антенн: с синфазным выходным фронтом и однородным заполнением диэлектриком плавного перехода, с синфазным выходным фронтом и неоднородным заполнением диэлектриком плавного перехода, а также линзовая антенна с П-образной формой ДН луча.

**В главе 4** решена задача синтеза цилиндрической многослойной геодезической металлодиэлектрической линзы и на ее основе разработаны и исследованы многолучевые антенны с полным азимутальным сектором обзора без затенения апертуры антенны облучающей системой.

В разделе 4.1 разработана методика синтеза многослойной геодезической цилиндрической линзы, состоящей из набора слоев, каждый из которых представляет собой металлодиэлектрическую геодезическую линзу с осевой симметрией. Линза преобразует сферическую волну облучателя с вертикальной поляризацией - в плоскую волну. Методика синтеза основана на сведении трехмерной задачи - к двумерной задаче с заданным лучевым полем источника при условии равенства эйконалов центральных лучей в каждом слое цилиндрической многослойной геодезической линзы.

В разделе 4.2 на основе многослойной геодезической цилиндрической линзы с однородным диэлектрическим заполнением плавного перехода и центральной части линзы разработаны и исследованы многолучевые антенны с полным азимутальным сектором обзора без затенения апертуры антенны облучающей системой. Использованы два типа облучателей антенны: пирамидальный металлический рупор и металлодиэлектрическая антенна бегущей волны на основе прямоугольного металлического волновода с диэлектрической вставкой. Путем численного моделирования с использованием МКЭ проведено исследование характеристик излучения антенны. Несмотря на неполное использование апертуры, антенна на основе многослойной градиентной цилиндрической линзы с поликоническим плавным переходом обеспечивает уровень величины КИП в диапазоне 0.55 - 0.6 в полосе частот 20%.

**Теоретическая значимость** работы состоит в том, что в диссертации получены новые решения задач синтеза:

- градиентных диэлектрических линз с центральной симметрией в общей постановке
- многослойных градиентных диэлектрических линз с центральной симметрией
- геодезических линз с плавным переходом и осевой симметрией в общей постановке
- многослойных геодезических диэлектрических линз с плавным переходом и осевой симметрией

## **Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций**

Достоверность результатов обеспечена использованием апробированных методов численного моделирования, а также сопоставлением результатов моделирования.

Результаты работы опубликованы в авторитетных рецензируемых научных изданиях и доложены на двух профильных конференциях.

**Практическая значимость** заключается в разработке и исследованию многолучевых антенн на основе градиентных и геодезических многослойных цилиндрических металлодиэлектрических линз с осевой симметрией, которые могут найти практическое применение в качестве базовых станций мобильной связи новых поколений, систем радиолокации и радиомониторинга.

К числу новых, полученных в работе результатов относятся:

1. Решение задачи синтеза градиентной диэлектрической линзы с центральной симметрией, оболочкой, произвольным выходным фронтом и положением фокуса вне или на поверхности линзы.

2. Решение задачи синтеза цилиндрической многослойной градиентной металлодиэлектрической линзы с осевой симметрией.

3. Решение задачи синтеза металлических и металлодиэлектрических геодезических линз с осевой симметрией и плавным переходом, оболочкой, произвольным выходным фронтом и положением фокуса.

4. Решение задачи синтеза цилиндрической многослойной металлодиэлектрической геодезической линзы с осевой симметрией.

5. Разработка и исследование многолучевых антенны на основе градиентных и геодезических многослойных цилиндрических металлодиэлектрических линз с осевой симметрией.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

## **Замечания и недостатки**

По работе следует отметить ряд замечаний:

При синтезе градиентной диэлектрической линзы, не было показано основное преимущество полученного в диссертации выражения – формирование произвольного фазового фронта.

Для случая многолучевой планарной антенны на основе набора концентрических диэлектрических колец, не показано сравнение синтезированной П-образной ДН с остронаправленной ДН для планарной антенны и геодезической линзовой антенны.

На рисунке 34 колебания диаграммы направленности в полосе пропускания составляют порядка 2-3 дБ, не приведено объяснение из-за чего получен такой результат.

## Общие замечания:

Поскольку диссертационная работа относится к направлению физико-математических наук, следовало бы посвятить отдельную главу описанию полученной зависимости коэффициента преломления линзы от радиальной координаты и указать, что полученный в диссертации интеграл, определяющий произвольное амплитудное распределением на выходе линзы, должен быть рассчитан численно.

На странице 17 ссылка на формулу 1.4 вводит в заблуждение при прочтении работы, поскольку формула 1.4 представляет собой интегральное уравнение для поиска показателя преломления в произвольной сферической среде, записанное в терминах, приведенных в работе. В данном месте необходимо было указать ссылку на ключевую формулу работы 1.5.

Следует отметить неаккуратность написания работы – подписи к рисункам зачастую располагаются на следующей странице после рисунка, нет единого выравнивания для всех формул, наличие опечаток в тексте.

## Заключение

Высказанные замечания не снижают ценности полученных результатов, диссертационная работа представляет собой законченное научное исследование, удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Чан Тиен Тханг, заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.2.14 – «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии»

Кандидат физико-математических наук

*С.Е.Ц*  
04.09.2023

Семерня Е. И.

Подпись к. ф.-м. н. Семерни Е. И. заверяю:

Начальник отдела  
по работе с персоналом  
Н.В. Царьков



## Информация об оппоненте:

Семерня Екатерина Игоревна, к.ф.м.-н. 01.04.03 «Радиофизика».

ООО "Исследовательский Центр Самсунг" Адрес: ул. Двинцев, 12 строение 1, Москва, 127018; +7 (495) 797-25-00; poshisholina@gmail.com.

Должность: инженер лаборатории сенсорных решений.

Дата 07.09.2023 г.