

## **ОТЗЫВ**

**официального оппонента** Останкова Александра Витальевича на диссертационную работу Селезнева Валентина Михайловича «Разработка и исследование характеристик сканирующих антенн миллиметрового диапазона длин волн», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.14 – «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии»

### **Актуальность темы диссертации**

Требования к пропускной способности современных беспроводных систем мобильной связи постоянно возрастают в связи с появлением новых мультимедийных услуг, развитием облачных технологий и интернета вещей. Однако современные системы мобильной связи четвертого поколения, работающие в диапазоне частот до 6 ГГц, не могут удовлетворить возросшие потребности пользователей из-за ограничений на доступную полосу частот.

Перспективным вариантом решения данной проблемы является использование для высокоскоростной беспроводной передачи данных миллиметрового диапазона длин волн, в котором есть еще незанятые современными радиоэлектронными системами широкие полосы частот. Использование сигналов миллиметрового диапазона с полосой в несколько гигагерц позволит увеличить скорость передачи между мобильными устройствами до нескольких десятков гигабит в секунду. Однако для создания систем мобильной связи миллиметрового диапазона длин волн необходимо решить ряд важных проблем. Одной из таких проблем является разработка относительно дешевых сканирующих антенн с высокими коэффициентам усиления. Решению этой проблемы и посвящена диссертация Селезнева В.М.

В диссертации развивается оригинальный подход к построению простых по конструкции сканирующих антенн миллиметрового диапазона длин волн, представлены результаты разработки и экспериментальных исследований характеристик сканирующих линзовых антенн, а также антенн с плоскими отражательными решетками. Представленные в диссертации сканирующие антенны имеют простые конструкции, широкие рабочие полосы частот и высокие коэффициенты усиления. Таким образом, диссертационную работу Селезнева В.М. можно считать актуальной и представляющей научный и практический интерес для специалистов в области современных беспроводных систем мобильной связи миллиметровых волн.

## Общая характеристика и структура диссертации

Диссертация включает введение, четыре главы, заключение, список литературы и приложение, в котором представлены два акта внедрения результатов работы. Содержание диссертации изложено на 130 листах машинописного текста. Материал представлен в логичной последовательности, аккуратно оформлен, содержит большое число иллюстраций (97 рисунков), структурированные данные (6 таблиц) и примеры, демонстрирующие основные результаты диссертационной работы.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, рассмотрено современное состояние проблемы разработки новых сканирующих антенн для беспроводных систем связи миллиметрового диапазона длин волн, сформулированы цель и задачи работы, ее научная новизна и практическая значимость, перечислены положения, выносимые на защиту, указаны сведения об апробации результатов работы.

В первой главе сформулированы основные требования к приемопередающему оборудованию диапазона 60 ГГц и антеннам, предъявляемые стандартами Wi-Fi миллиметрового диапазона длин волн IEEE 802.11ad и IEEE 802.11ay. В данной главе также приведен детальный анализ известных типов сканирующих антенн, отмечены их основные недостатки.

Вторая глава посвящена разработке сканирующих линзовых антенных систем, приведены основные элементы методики проектирования линзовых антенн, включая расчет профилей фокусирующих линз, результаты электромагнитного 3D-моделирования сканирующих антенных систем диапазона 60 ГГц с тороидальными линзами с зонированным и бифокальным профилем.

В третьей главе представлены элементы методики проектирования антенн с пассивными плоскими отражательными решетками, формирующими в плоскости угла места диаграммы направленности секторного, карандашного и косекансного типа. Отражательные решетки разработаны автором с помощью усовершенствованного итерационного метода, в котором эталонная амплитудная диаграмма принадлежит к классу целых функций экспоненциального типа. При этом при синтезе отражательных решеток в данной работе впервые использовались оригинальные эталонные функции фазовых диаграмм, позволившие получить более точное приближение к требуемой форме главного луча. Согласно приведенным результатам электромагнитного моделирования в CST Microwave Studio формы главных

лучей антенн, содержащих такие отражательные решетки, соответствуют заданным эталонным шаблонам, что подтверждает эффективность предложенного итерационного метода.

Четвертая глава посвящена практической реализации и результатам экспериментальных исследований характеристик четырех изготовленных прототипов сканирующих антенн диапазона 60 ГГц. Согласно приведенным данным, измеренные характеристики изготовленных прототипов антенн хорошо согласуются с результатами электромагнитного моделирования в CST Microwave Studio.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы и выводы.

Автореферат отражает содержание диссертации.

Тема и содержание диссертационной работы соответствует паспорту специальности 2.2.14 – «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии», в частности пунктам 2, 3 и 9.

### **Научная новизна результатов диссертации**

В диссертационной работе представлены следующие результаты, обладающие научной новизной:

1. Методика проектирования бифокальной линзовой антенны, отличающаяся совмещением метода геометрической оптики и электромагнитного 3D моделирования, адаптированная к использованию конкретного излучателя, интегрируемого с линзой, и позволяющая разрабатывать линзовые антенны миллиметровых волн с высоким коэффициентом усиления, способные обеспечивать широкоугольное электронное сканирование в азимутальной плоскости с подстройкой направления излучения в плоскости угла места.

2. Методика проектирования сканирующих антенн с плоскими пассивными отражательными решетками, формирующими диаграммы направленности заданного типа, отличающаяся сочетанием усовершенствованного итерационного метода синтеза с электромагнитным 3D моделированием. Усовершенствованный итерационный алгоритм синтеза плоских пассивных отражательных решеток отличается более точным приближением к требуемой форме главного луча антенны по сравнению с известными методами, реализуемым без больших вычислительных затрат.

### 3. Результаты теоретических и экспериментальных исследований:

— по возможности уменьшения массы сканирующих линзовых антенн диапазона 60 ГГц без существенного уменьшения их коэффициента усиления и секторов сканирования путем оптимизации формы диэлектрических линз;

— по обеспечению специальных диаграмм направленности антенн с плоскими отражательными решетками при сохранении возможности электронного сканирования в азимутальной плоскости.

#### **Обоснованность и достоверность результатов диссертационной работы**

Представленные в диссертации положения и выводы теоретически обоснованы. Достоверность полученных результатов работы обусловлена применением современных средств компьютерного электромагнитного 3D моделирования, а также использованием верифицированного оборудования, с помощью которого были измерены характеристики изготовленных прототипов сканирующих антенн диапазона 60 ГГц. Результаты работы докладывались и обсуждались на научно-технических конференциях различного уровня.

#### **Публикации и апробация результатов работы**

Основные положения диссертации отражены в 15 публикациях, в числе которых четыре статьи в рецензируемых научных журналах из перечня изданий ВАК, в которых должны быть опубликованы результаты диссертаций по специальности 2.2.14 – «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии», одна статья в рецензируемом научном журнале, индексируемом в международных базах данных Web of Science и Scopus, шесть работ, представляющих собой опубликованные материалы докладов на конференциях, один патент на изобретение и три свидетельства о регистрации программы для ЭВМ.

#### **Практическая значимость результатов диссертации**

Можно выделить следующие результаты диссертации, представляющие практическую значимость:

1. Использование разработанной тороидально-бифокальной линзовой антенны в малых релейных станциях, расположенных друг от друга на расстояниях 100 – 300 м и на высотах 10 – 30 м, позволит повысить качество и надежность передачи данных в реконфигурируемых транспортных сетях со скоростями 2.5 – 4.6 Гбит/с.

2. Использование разработанной зонированной линзовой антенны в мобильных системах связи 5G позволит уменьшить массу релейных станций диапазона 60 ГГц, осуществляющих высокоскоростную передачу данных на расстояния до 300 м.

3. На основе разработанных моделей плоских отражательных решеток могут быть созданы сканирующие антенны, предназначенные для точек доступа в Интернет 5G в больших помещениях и других крупных объектах социальной инфраструктуры.

4. Разработанные сканирующие антенны с плоскими пассивными отражательными решетками (прямофокусной и офсетной) могут найти применение в транспортных сетях 5G, в которых требуются недорогие антенны с небольшой массой, в частности, в малых релейных станциях диапазона 60 ГГц, осуществляющих высокоскоростную передачу данных на расстояния до 150 м.

Согласно приведенным актам внедрения результаты диссертационной работы использовались в ННГУ им. Н.И. Лобачевского при выполнении на кафедре статистической радиофизики и мобильных систем связи различных научно-исследовательских работ. Кроме того, в тексте диссертации указано, что результаты диссертационного исследования вошли в отчет о выполнении соискателем НИОКР по теме «Разработка сканирующей линзовой антенной системы диапазона 57-64 ГГц для беспроводной автомобильной связи», проводившейся в рамках программы «УМНИК».

#### **Недостатки и замечания по диссертационной работе**

1. Диссертация имеет практическую направленность и содержит результаты интеллектуальной деятельности, защищенные патентом на изобретение и авторскими свидетельствами о регистрации программ для ЭВМ. Однако в тексте диссертации отсутствует детальное описание возможностей разработанных программ и их вычислительной сложности.

2. В диссертации представлены результаты разработки и экспериментальных исследований прототипов сканирующих линзовых антенн и антенн с плоскими отражательными решетками миллиметрового диапазона длин волн. Однако в диссертации не приведен их сравнительный анализ, который позволил бы конкретизировать область применения каждого типа антенн.

3. Постановка цели и определение задач диссертации требует выяснения степени разработки темы, чему и посвящена обзорная первая глава. Однако, на мой взгляд, объем первой главы избыточен.

4. В диссертации мной не найдены пояснения по выбору таких параметров разработанных антенн, как вертикальный размер гиперболической зонированной линзы, бифокальной линзы, высоты подвеса облучателя над плоской отражательной решёткой, хотя соображения по их выбору довольно очевидны.

5. Вполне понятны посылы автора, связанные с заменой виртуальным рупором устройства возбуждения в виде ФАР при синтезе, а также электродинамическом моделировании плоских отражательных решеток и линз, однако, на мой взгляд, следовало бы в начале второй главы работы привести экспериментальные характеристики направленности ФАР и идентифицировать их некому эквивалентному рупору. С учетом отличий габаритов апертур эквивалентного рупора и реальной ФАР, а также координат предполагаемых фазовых центров не вполне ясно потребовалось ли на практике оптимизировать положение ФАР относительно линзы или отражательной решетки для достижения планируемых показателей излучения.

6. Комментарии, приведенные на с. 107, 109 диссертации, о высокой степени точности экспериментально измеренных и полученных на основе электромагнитного 3D моделирования диаграмм направленности являются, на мой взгляд, излишне оптимистичными, поскольку визуально кривые направленности отличаются (особенно в азимутальной плоскости), а численные оценки степени схожести кривых отсутствуют.

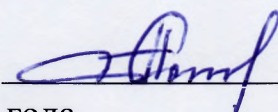
Указанные недостатки и замечания не снижают общего положительного впечатления от диссертации.

### **Заключение**

Диссертация Селезнева В.М. «Разработка и исследование характеристик сканирующих антенн миллиметрового диапазона длин волн» является цельной и законченной научно-квалификационной работой, в которой представлены результаты, имеющие научную новизну и практическую значимость.


Таким образом, диссертационная работа полностью соответствует требованиям пунктов 9 – 14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 (ред. от 11.09.2021), а ее автор Селезнев Валентин Михайлович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.14 – «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии».

Заведующий кафедрой радиотехники Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный технический университет», доктор технических наук, доцент

  
Останков Александр Витальевич  
20 января 2024 года

Даю согласие на обработку персональных данных и размещение их в сети Интернет.

Подпись Останкова А.В. заверяю:  
проректор по науке и инновациям  
ФГБОУ ВО «ВГТУ»

  
Башкиров Алексей Викторович

Докторская диссертация защищена Останковым А.В. по специальности 2.2.14 – «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии».

Сведения об организации: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный технический университет»

Служебный адрес: Россия, 394006, г. Воронеж, ул. 20 лет Октября, 84.

Тел. раб.: +7 (473) 207-22-20 (доб. 6080).

E-mail: rt.kaf@cchgeu.ru, ostankov.a.v@vorstu.ru.