

УТВЕРЖДАЮ

Ректор
ФГАОУ ВО «Уральский
федеральный
университет имени первого
Президента
России Б. Н. Ельцина»


И. Н. Обабков
« 11 » ИЮНЯ 2016



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина» (УрФУ).

Диссертация «Методы анализа, оптимизации и реализации многослойных сферических линзовых структур» Денисовым Дмитрием Вадимовичем выполнена на кафедре радиоэлектроники и телекоммуникаций Института радиоэлектроники и информационных технологий — РТФ.

В период подготовки диссертации Денисов Д. В. работал в должности доцента кафедры радиоэлектроники и телекоммуникаций Института радиоэлектроники и информационных технологий — РТФ УрФУ.

В 2015 году окончил аспирантуру и защитил диссертацию на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.12.07 — «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии» в Нижегородском государственном техническом университете имени Р. Е. Алексеева.

Научный консультант — доктор технических наук, доцент Носков Владислав Яковлевич, кафедра радиоэлектроники и телекоммуникаций Института радиоэлектроники и информационных технологий — РТФ УрФУ.

По итогам обсуждения принято следующее заключение.

Оценка выполненной соискателем работы

Диссертационная работа Денисова Д. В. представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой получены теоретические и прикладные результаты, в совокупности решающие крупную научную проблему электродинамического анализа и оптимизации многослойных сферических линзовых структур и многолучевых антенных систем на их основе. Решение этой проблемы имеет важное хозяйственное значение для отечественных систем радиосвязи, радиолокации и управления радиозаметностью, в части пассивных формирователей многолучевой диаграммы направленности для систем связи пятого и шестого поколений (5G/6G), радиолокации и радионавигации, систем управления радиозаметностью беспилотного транспорта.

Диссертация отличается завершённой научной постановкой: полученные теоретические результаты доведены до открытой программной реализации (библиотека GreenTensor), верифицированы на канонических задачах и эталонном полноволновом решателе Ansys HFSS, экспериментально проверены на серии 3D-печатных макетов и внедрены в практику семи организаций — промышленных, научно-производственных и образовательных. Работа выполнена на высоком научном уровне и соответствует требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям по специальности 2.2.14 «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии».

Личное участие автора в получении результатов

Автору принадлежит постановка цели и задач исследования, выбор методологии, формулировка положений, выносимых на защиту. Денисовым Д. В. лично развит математический аппарат тензорных функций Грина в сферической системе координат для радиально-неоднородных и радиально-анизотропных слоистых структур; построена рекуррентная схема пересчёта направленных импедансов и адмитансов по слоям, замыкающая триаду «плоскость — цилиндр — сфера» в рамках единой методологии. Получены замкнутые расчётные соотношения для антенных характеристик линз Люнеберга — коэффициента направленного действия, коэффициента

усиления, диаграмм направленности по основной и кросс-поляризационной составляющим, коэффициента поляризационных потерь.

Лично автором получено замкнутое аналитическое решение обратной задачи Абелевского типа для синтеза радиально-неоднородного профиля показателя преломления при произвольном наперед заданном угле отклонения, на основе которого впервые сформулирован класс «линзовых дефлекторов». Разработана методика многокритериальной генетической оптимизации многослойной аппроксимации профиля линзы Люнеберга с явным учётом ограничений FDM-3D-печати по диапазону реализуемых проницаемостей и степеней заполнения.

Автором лично разработана и введена в эксплуатацию открытая программная библиотека GreenTensor (Python), реализующая развитый аппарат тензорных функций Грина в виде классового программного интерфейса и интегрированная со средой Ansys Electronics Desktop через IronPython-скрипты автоматического синтеза HFSS-моделей. Библиотека верифицирована на канонических задачах (металлические сферы, многослойные линзы Люнеберга) и применена для генерации обучающих выборок при построении нейросетевых суррогатных моделей.

Денисовым Д. В. лично выполнено численное моделирование линзовых антенн в Ansys HFSS, проведена оптимизация конструкции многослойного диэлектрика, спроектированы и изготовлены методом FDM-3D-печати макеты линз диаметром 50, 73 и 130 мм из материалов HIPS, PLA, PETG и пенопласта; выполнены экспериментальные измерения диэлектрической проницаемости методом NRW в волноводном тракте. Подготовка публикаций и докладов на международных конференциях, оформление патентных заявок и свидетельств на программы для ЭВМ выполнены автором лично; в патентах на изобретение автор выступает соавтором в составе коллектива. Личный вклад автора подтверждается публикациями, докладами на международных конференциях и практической реализацией разработанных методов в виде программного обеспечения.

Степень новизны результатов работы

1. Впервые рекуррентная схема пересчёта направленных импедансов и адмитансов, ранее построенная для плоских и цилиндрических магнитодиэлектрических слоистых структур в работах школы Б. А. Панченко — С. Н. Шабунина, последовательно перенесена на сферически-симметричный случай в виде, замыкающем триаду «плоскость — цилиндр — сфера» в рамках единой методологии тензорных функций Грина. По сравнению с универсальными конечно-элементными пакетами получаемое сокращение машинного времени на 2 — 4 порядка при сохранении точности (расхождение по ширине главного лепестка не более $0,6^\circ$, по уровню первого бокового лепестка не более 1 дБ) ранее в литературе не сообщалось.

2. Впервые предложена и реализована открытая Python-библиотека GreenTensor с классовым программным интерфейсом, объединяющая в едином API одночастотный анализ (RCSCalculator) и параметрический свип по электрическому размеру (ScatteringCalculator). На однопоточном процессоре уровня Intel Core i7-12700K расчёт зависимостей бистатического и моностатического сечений рассеяния на сетке из ~ 100 узлов выполняется за время не более 5 секунд, что отличает библиотеку от существующих узкоспециализированных решений и делает практически реализуемыми параметрическую оптимизацию сферических линзовых структур на десятках тысяч конфигураций и построение нейросетевых суррогатных моделей.

3. Впервые в рамках единого аналитического аппарата описано формирование диаграмм направленности специального вида (косекансных $\text{csc}^2(\theta)$, многолучевых, с управляемой обратной составляющей) полусферической линзой Люнеберга на проводящем экране и сферической линзой с центральным металлическим ядром. Получены оригинальные количественные характеристики (ширина косекансного сектора $76,1^\circ$ при уровне первого бокового лепестка не выше $-25,4$ дБ и диаметре экрана $d = 8\lambda$, вдвое превышающем диаметр линзы, причём при $d \geq 8\lambda$ характеристики выходят на насыщение; управление уровнем обратного излучения

металлическим ядром в пределах ± 10 дБ; подавление обратного рассеяния до $\sigma_{-r} \leq 10^{-25} \cdot \pi a^2$ импедансным согласованием слоёв магнетодиэлектрической конфигурации), не имеющие прямых аналогов в опубликованных работах по линзовым антеннам.

4. Впервые получено замкнутое аналитическое решение обратной задачи Абелевского типа для синтеза радиально-неоднородного профиля показателя преломления при произвольном наперёд заданном угле отклонения α из интервала $(0; \pi)$. На основе полученного решения впервые сформулирован и исследован класс устройств — «линзовых дефлекторов» — как естественное обобщение классической линзы Итона (восстанавливаемой как предельный случай при $\alpha \rightarrow \pi$); показаны новые приложения этого класса в управлении радиозаметностью объектов и в пассивных элементах многолучевой связи 5G.

5. Впервые предложена и численно обоснована методика многокритериальной генетической оптимизации (MOGA) многослойной аппроксимации профиля $\varepsilon(r) = 2 - (r/a)^2$ с явным учётом ограничений FDM-3D-печати по диапазону реализуемых проницаемостей и степеней заполнения 15,1 — 77,9 %. По сравнению с равношаговой стратификацией методика обеспечивает $RMSE(\varepsilon) = 0,032$ при числе слоёв $L = 8$ — на 23 % ниже равношаговой стратификации (0,0416) и на 13 % ниже оптимизированной аппроксимации Фукса (0,0368) — и закрывает технологический разрыв между расчётной моделью и реализуемым изделием; Электродинамический выигрыш восьмислойной MOGA-стратификации получен расчётным путём; технология изготовления и аппарат анализа подтверждены экспериментально на макетах диаметром 50, 73 и 130 мм — измерения методом NRW дают отклонение реализованного профиля диэлектрической проницаемости от расчётного не более 2—3 %.

6. Впервые для сферической градиентной линзы введён и систематически исследован коэффициент поляризационных потерь $\alpha = \sigma_{s,кп} / (\sigma_{s,оп} + \sigma_{s,кп})$ и сопряжённая с ним поляризационная эффективность $\mu = 1$

– α при облучении волнами круговой поляризации. Установлен и аналитически описан осциллирующий характер $\alpha(k_0a)$, обусловленный интерференцией волн, переизлучаемых границами раздела слоёв. Полученный результат даёт ранее не предлагавшийся количественный критерий выбора числа слоёв при проектировании пассивных отражателей с заданной поляризационной эффективностью.

Практическая значимость

1. Разработанные методы и программная библиотека GreenTensor позволяют перевести задачу синтеза многослойной линзы Люнеберга для систем подвижной связи миллиметрового диапазона из категории трудоёмкой (десятки—сотни часов машинного времени методом конечных элементов) в категорию инженерно-практической: ускорение параметрической оптимизации в 10^2 — 10^4 раз делает реализуемым серийное проектирование пассивных формирователей многолучевой диаграммы направленности для базовых станций 5G/6G и абонентских устройств.

2. Полученные методики проектирования модифицированных конфигураций (полусферическая линза Люнеберга на проводящем экране, тороидная линза для панорамного азимутального обзора, линза с центральным металлическим ядром) обеспечивают методическую базу для антенн обзорной радиолокации с диаграммой косекансного типа, для панорамных систем без механического сканирования и для пассивных маркеров эффективной площади рассеяния.

3. Класс «линзовых дефлекторов», полученный из аналитического решения обратной задачи синтеза профиля показателя преломления, применим в задачах управления радиозаметностью беспилотных летательных аппаратов и в качестве пассивных элементов многолучевой связи. Ряд практических решений, связанных с применением разработанных подходов в прикладных радиолокационных задачах, защищён патентами Российской Федерации № 2792315 (приоритет 12.10.2022) и № 2815559 «Способ фиксации момента отделения отцепа от состава и

радиолокационный датчик его реализующий (варианты)» (опубл. 18.03.2024, бюл. № 7); заявитель по обоим — АО «Научно-производственное предприятие „Радиосвязь“».

4. Методика многокритериальной генетической оптимизации многослойной аппроксимации профиля линзы Люнеберга с учётом технологических ограничений FDM-3D-печати обеспечивает воспроизводимое изготовление линз стандартными слайсерами без аппаратных модификаций оборудования, что критично для серийного производства. Технология верифицирована на серии макетов диаметром 50, 73 и 130 мм из материалов HIPPS, PLA, PETG и пенопласта.

5. Открытая программная библиотека GreenTensor опубликована в репозитории GitHub с документацией на портале Read the Docs, что обеспечивает её независимое использование сторонними научными и инжиниринговыми коллективами для расчёта рассеяния электромагнитных волн на многослойных сферических структурах и для генерации обучающих выборок при построении нейросетевых суррогатных моделей в задачах инверсного дизайна градиентных сред.

6. Результаты диссертационной работы внедрены в практическую деятельность организаций: ПАО «Машиностроительный завод имени М. И. Калинина» (МЗиК, г. Екатеринбург), ОАО «ЛИИП им. Гризодубовой В. С.» (г. Жуковский), ООО «ИСКРАТЕХ» (Искра-Технологии), ООО «Нова Инжиниринг», ООО «ТвинТех», ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» (СибГУТИ) и ИРИТ-РТФ УрФУ, что подтверждается соответствующими актами о внедрении. Внедрение охватывает методику проектирования многослойных линзовых антенн миллиметрового диапазона, программный комплекс GreenTensor в составе расчётных процедур и технологию изготовления макетов методом 3D-печати.

7. Результаты диссертации применяются в научной работе аспирантов и магистрантов ИРИТ-РТФ УрФУ при подготовке диссертаций и выпускных

квалификационных работ, что подтверждается актом внедрения университета.

Степень обоснованности и достоверности результатов

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, изложенных в диссертации, обеспечивается тремя независимыми направлениями верификации, применёнными к каждому из пяти положений, выносимых на защиту.

Первое направление — математическая строгость аппарата. Развитый метод тензорных функций Грина для сферически-симметричных структур опирается на строгие теоремы существования решения уравнений Максвелла в областях, частично заполненных диэлектриком, и наследует апробированный в работах школы Б. А. Панченко — С. Н. Шабунина формализм. Обратная задача синтеза профиля показателя преломления сведена к уравнению Абелевского типа, для которого условия разрешимости доказаны в классической литературе.

Второе направление — сопоставление с эталонным полноволновым решателем. Для всех численных результатов диссертации проведена систематическая верификация в *Ansys Electronics Desktop* (метод конечных элементов с адаптивной тетраэдральной сеткой). На канонической серии задач (металлические сферы при числе слоёв 2 и 5, четырёхслойная линза Люнеберга, металлическая сфера с диэлектрическим укрытием) расхождение метода тензорных функций Грина и FEM-решения не превышает $0,6^\circ$ по ширине главного лепестка и 1 дБ по уровню первого бокового лепестка. HFSS-проект и экспортированные диаграммы хранятся в открытом репозитории *GreenTensor* и доступны для независимой проверки.

Третье направление — независимая программная реализация и эксперимент. Проведено перекрёстное сопоставление Python-реализации в библиотеке *GreenTensor* с независимым Matlab-скриптом — расхождение нормированной компоненты E_θ не превышает 10^{-4} . Экспериментальная

верификация выполнена на серии 3D-печатных макетов диаметром 50, 73 и 130 мм из материалов HIPS, PLA, PETG и пенопласта; отклонение реализованного профиля диэлектрической проницаемости от расчётного в диапазоне $1 \leq \epsilon \leq 2$ не превышает 2—3 %, что подтверждено методом NRW в волноводном тракте. Достоверность также подтверждается соответствием полученных результатов опубликованным данным других авторов в пределах их применимости.

Апробация работы

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих международных и всероссийских научных конференциях: 25-я Международная конференция молодых специалистов по электронным приборам и материалам IEEE EDM (Эрлагол, 2024 г.); IEEE Ural-Siberian Conference on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology USBEREIT (Екатеринбург, 2019, 2022 и 2024 гг.); 28-й Международный форум по телекоммуникациям IEEE TELFOR (Белград, Сербия, 2020 г.); 12-я Европейская конференция по антеннам и распространению радиоволн EuCAP (Лондон, Великобритания, 2018 г.); 12-я Европейская конференция по радиолокации EuRAD и 45-я Европейская конференция по микроволнам EuMC (Париж, Франция, 2015 г.); Международная научно-техническая конференция «Актуальные проблемы электронного приборостроения» APEIE (Новосибирск, 2021 г.); научно-техническая конференция ИжГТУ им. М. Т. Калашникова (Ижевск, 2022 г.); 7-я Всероссийская научно-техническая конференция «Системы связи и радионавигации» (Красноярск, 25—27 октября 2023 г.); семинары кафедры радиоэлектроники и телекоммуникаций ИРИТ-РТФ УрФУ (Екатеринбург, 2018—2024 гг.); семинары кафедры «Мультимедиа и мобильных систем» УрТИСИ СибГУТИ (Екатеринбург, 2012—2020 гг.).

Результаты работы регулярно обсуждались на научных семинарах кафедры радиоэлектроники и телекоммуникаций Института радиоэлектроники и информационных технологий — РТФ Уральского

федерального университета под руководством заведующего кафедрой доктора технических наук, профессора Шабунина Сергея Николаевича, а также в рамках регулярных рабочих консультаций научного консультанта доктора технических наук, доцента Носкова Владислава Яковлевича. Работа обсуждалась также в рамках научной школы прикладной электродинамики под руководством доктора технических наук, заслуженного деятеля науки Российской Федерации, почётного профессора УГТУ-УПИ Б. А. Панченко.

Публикации

Основные результаты по теме диссертации изложены в 52 печатных изданиях, в том числе в одной монографии (LAP Lambert Academic Publishing, 2017 г., 200 с., совместно с Б. А. Панченко), в 18 статьях в рецензируемых научных журналах из перечня ВАК РФ и в 8 публикациях в материалах конференций, индексируемых Web of Science и Scopus. Дополнительно зарегистрированы 2 патента Российской Федерации на изобретения и 3 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. Полный перечень из 57 позиций приведён в приложении к настоящему заключению.

Специальность, которой соответствует диссертация

Диссертационная работа Денисова Д. В. «Методы анализа, оптимизации и реализации многослойных сферических линзовых структур» по своему содержанию, объекту и предмету исследования, использованным методам и полученным результатам соответствует паспорту научной специальности 2.2.14 «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии» (технические науки), в том числе по областям исследований, относящимся к решению внешних и внутренних дифракционных задач электродинамики для анализа и синтеза антенн и микроволновых устройств, к исследованию их характеристик для оптимизации и модернизации, к разработке новых антенных систем и пассивных микроволновых устройств, а также к разработке и исследованию новых технологий производства, настройки и

эксплуатации антенных систем (пункты 1, 2, 3, 6, 8 и 9 паспорта специальности).

Диссертация «Методы анализа, оптимизации и реализации многослойных сферических линзовых структур» Денисова Дмитрия Вадимовича рекомендуется к защите на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 2.2.14 — «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии».

Заключение принято на расширенном заседании кафедры радиоэлектроники и телекоммуникаций Института радиоэлектроники и информационных технологий — РТФ Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина.

Присутствовало на заседании 14 чел. Результаты голосования: «за» — 14 чел., «против» — 0 чел., «воздержалось» — 0 чел., протокол № 4 от «21» мая 2026 г.

Председатель заседания,
заведующий кафедрой радиоэлектроники
и телекоммуникаций ИРИТ-РТФ УрФУ,
д.т.н., профессор Шабунин С. Н.

 Шабунин С. Н.

Учёный секретарь кафедры радиоэлектроники
и телекоммуникаций ИРИТ-РТФ УрФУ,
к.т.н. Петренко А. А.

 Петренко А. А.

Список публикаций соискателя
Денисова Дмитрия Вадимовича

Монография (1)

1. Денисов, Д. В. Характеристики линзы Люнеберга для полей круговой поляризации [Текст] / Д. В. Денисов, Б. А. Панченко. — Saarbrücken : LAP Lambert Academic Publishing, 2017. — 200 с. — URL: <https://books.google.com/books?id=jtvSzQEACAAJ>.

Статьи в журналах из перечня ВАК (18)

1. Методика изготовления линзы Люнеберга для увеличения эффективной площади рассеяния малых беспилотных летательных аппаратов [Текст] / Д. В. Денисов [и др.] // Ural Radio Engineering Journal. — 2025. — Т. 9, № 2. — С. 194—215. — URL: <https://elar.urfu.ru/handle/10995/145286>.

2. Обзор конструкций антенн на основе линзы Люнеберга, изготавливаемых методами аддитивного производства [Текст] / Д. В. Кусайкин [и др.] // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. — 2024. — Т. 27, № 2. — С. 6—36. — URL: <https://re.eltech.ru/jour/article/view/861/756>.

3. Выбор параметров многослойной сферической линзы Люнеберга при ее реализации посредством аддитивных технологий [Текст] / Д. В. Денисов [и др.] // Ural Radio Engineering Journal. — 2023. — Т. 7, № 4. — С. 343—374. — URL: <https://journals.urfu.ru/index.php/urj/article/view/7675> ; urfu.ru (DOI) + ELAR УрФУ (elar.urfu.ru/handle/10995/129367).

4. Denisov, D. V. Modeling of a Lunenburg lens antenna with the inner metallic sphere [Text] / D. V. Denisov, V. Y. Noskov, D. V. Kusaykin // T-Comm. — 2022. — 16 (11). — P. 44—49.

5. Денисов, Д. В. Влияние металлического стержня внутри сферической линзы Люнеберга на ее характеристики [Текст] / Д. В. Денисов, В. Я. Носков // Ural Radio Engineering Journal. — 2022. — 6 (2). — С. 160—185.

6. Денисов, Д. В. Оценка канала в системах 5G MIMO-OFDM с многолучевыми линзовыми антеннами [Текст] / Д. В. Денисов, Д. В. Кусайкин // Вестник СибГУТИ. — 2021. — 2(56). — С. 56—68.

7. Денисов, Д. В. Формирование диаграммы направленности специального типа с помощью полусферической линзы Люнебурга [Текст] / Д. В. Денисов, А. А. Тангамян // Вестник Концерна ВКО «Алмаз–Антей». — 2021. — № 2. — С. 28—34.

8. Денисов, Д. В. Расчет линзы Люнебурга в ANSYS HFSS для подготовки к изготовлению с помощью 3D-печати [Текст] / Д. В. Денисов, А. А. Тангамян // Вестник СибГУТИ. — 2020. — 3 (51). — С. 54—63.

9. Денисов, Д. В. Антенные характеристики полусферической линзы Люнебурга при сканировании [Текст] / Д. В. Денисов, Б. А. Панченко, С. Н. Шабунин // Радиотехника и электроника. — 2019. — 64(3). — С. 246—251. — Denisov, D. V. Antenna characteristics of a hemispherical Luneburg lens in the scan mode [Text] / D. V. Denisov, B. A. Panchenko, S. N. Shabunin // Journal of Communications Technology and Electronics. — 2019. — 64(4). — P. 357—362.

10. Панченко, Б. А. Антенная решетка линз, возбуждаемая системой первичных облучателей [Текст] / Б. А. Панченко, Д. В. Денисов // Антенны. — 2018. — 2(246). — С. 21—25.

11. Панченко, Б. А. Выбор параметров первичного облучателя линзы Люнеберга для суммарно-разностного режима работы [Текст] / Б. А. Панченко, Д. В. Денисов, О. П. Пономарев // Радиотехника и электроника. — 2018. — 63(2). — С. 139—143.

12. Панченко, Б. А. Рассеяние электромагнитных волн на неоднородных сферических телах [Текст] / Б. А. Панченко, О. П. Пономарев, Д. В. Денисов // Антенны. — 2017. — № 4. — С. 3—6.

13. Панченко, Б. А. Быстрый расчет характеристик рассеяния линзы Люнеберга [Текст] / Б. А. Панченко, О. П. Пономарев, Д. В. Денисов // Вестник Концерна ВКО Алмаз-Антей. — 2017. — 2(21). — С. 21—25.

14. Тензорные функции Грина для расчёта электромагнитных полей от слоистых сферических структур [Текст] / Б. А. Панченко [и др.] // Вестник СибГУТИ. — 2016. — № 2. — С. 18—24. — URL: <https://vestnik.sibsutis.ru/jour/article/view/176>.

15. Влияние уровня стратификации линзы Люнеберга на ее антенные характеристики [Текст] / Б. А. Панченко [и др.] // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. — 2014. — № 1. — С. 3—6.

16. Панченко, Б. А. Антенные характеристики линзы Люнеберга при круговой поляризации поля [Текст] / Б. А. Панченко, Д. В. Денисов // Антенны. — 2013. — № 12. — С. 026—030.

17. Панченко, Б. А. Дифракционные характеристики линзы Люнеберга для поля круговой поляризации [Текст] / Б. А. Панченко, Д. В. Денисов // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. — 2013. — Т. 16, № 4. — С. 33—37.

18. Панченко, Б. А. Поляризационная эффективность излучения крестообразных вибраторов [Текст] / Б. А. Панченко, Д. В. Денисов // Вестник СибГУТИ. — 2013. — № 1. — С. 68—74.

Статьи в журналах и материалах конференций, индексируемых Scopus / Web of Science (8)

1. Denisov, D. V. GreenTensor Electromagnetic Library for Calculating Scattering Patterns on a Human Head Model [Text] / D. V. Denisov, I. O. Skumatenko, M. A. Shestevov // 2024 IEEE Ural-Siberian Conference on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology (USBEREIT). — 2024. — P. 338—340.

2. GreenTensor Electromagnetic Library for Calculate Scattering on Multilayer Spherical Structures [Text] / D. V. Denisov [et al.] // 2024 IEEE 25th International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM). — 2024. — P. 530—533.

3. Denisov, D. Creating a Luneburg Lens with a Variable Pitch 3D Printer [Text] / D. Denisov, A. Tangamyan // 2022 Ural-Siberian Conference on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology (USBREIT). — 2022. — P. 090—093.

4. Base Station Multibeam Antenna for 5G Network Based on the Lunenburg Lens Structure [Text] / D. V. Denisov [et al.] // 2021 XV International Scientific-Technical Conference on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering (APEIE). — Новосибирск : IEEE, 2021. — P. 260—263. — URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9647657>.

5. Kusaykin, D. V. Based Interpolation Channel Estimation for Millimeter-Wave MIMO OFDM Systems with Multibeam Luneburg Antenna [Text] / D. V. Kusaykin, D. V. Denisov, M. A. Klevakin // 2021 XV International Scientific-Technical Conference on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering (APEIE). — Новосибирск : IEEE, 2021. — P. 224—227.

6. Denisov, D. Influence of the Dielectric Layer on the Antenna Characteristics of the Luneburg Lens [Text] / D. Denisov, S. Shabunin, A. Tangamyan // 2020 28th Telecommunications Forum (TELFOR). — 2020. — P. 1—4.

7. Denisov, D. Lens Antenna Array Excited by the Primary-Feed System [Text] / D. Denisov, B. Panchenko // 2019 Ural Symposium on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology (USBREIT). — IEEE. 2019. — P. 321—324.

8. Panchenko, B. Fast analysis of Luneburg lens radiation by Green's function method [Text] / B. Panchenko, S. Shabunin, D. Denisov // 2015 European Radar Conference (EuRAD). — 2015. — P. 568—571.

Доклады на российских конференциях и иные научные публикации (25)

1. Денисов, Д. В. Моделирование сферической линзы Люнеберга с перфорированной структурой слоёв при 3D-печати [Текст] / Д. В. Денисов, Д. В. Кусайкин // Технологии разработки и отладки сложных технических

систем: материалы IX Всероссийской научно-практической конференции. — Москва, 2024. — С. 161—167. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=81389569>.

2. Кусайкин, Д. В. Сравнение моделей сферических линзовых антенн для сетей 5G [Текст] / Д. В. Кусайкин, Д. В. Денисов // Технологии разработки и отладки сложных технических систем: материалы IX Всероссийской научно-практической конференции. — Москва, 2024. — С. 361—365.

3. Денисов, Д. В. Библиотека с открытым исходным кодом для решения задач рассеяния на многослойных сферических телах [Текст] / Д. В. Денисов, В. Я. Носков, И. О. Скуматенко // 7-я Всероссийская научно-техническая конференция «Системы связи и радионавигации» (25—27 окт. 2023). — Красноярск, 2023. — С. 200—203.

4. Денисов, Д. В. Способы постановки задач в HFSS для анализа влияния электромагнитного излучения на человека [Текст] / Д. В. Денисов, В. Я. Носков, И. О. Скуматенко // 7-я Всероссийская научно-техническая конференция «Системы связи и радионавигации» (25—27 окт. 2023). — Красноярск, 2023. — С. 212—214.

5. Каменсков, А. Е. Прогнозирование характеристик многолучевой линзовой антенны с помощью искусственных нейронных сетей [Текст] / А. Е. Каменсков, Д. В. Кусайкин, Д. В. Денисов // Тенденции развития науки и образования : научный журнал. — 2023. — С. 83—86. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=53929073>.

6. Кусайкин, Д. В. 3D-печать сферической линзовой антенны в форме многогранника Голдберга [Текст] / Д. В. Кусайкин, Д. В. Денисов // Прикладная физика, информационные технологии и инженерия : сборник трудов VI Всероссийской научно-практической конференции. — Омский научно-исследовательский институт приборостроения, 2023. — С. 108—110. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=59994538>.

7. Кусайкин, Д. В. Прогнозирование параметров линзы Люнеберга нейросетевым методом [Текст] / Д. В. Кусайкин, Д. В. Денисов, А. Е. Каменсков // Тенденции развития науки и образования. — 2023. — № 103—8. — С. 239—242. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=58908283>.

8. Кусайкин, Д. В. Анализ системы MU-MIMO сети 5G с многолучевой линзовой антенной [Текст] / Д. В. Кусайкин, Д. В. Денисов // Динамика систем, механизмов и машин : материалы XIV Международной IEEE научно-технической конференции. — МИРЭА — Российский технологический университет, 2022. — С. 412—416. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50149430>.

9. Кусайкин, Д. В. Моделирование электромагнитной обстановки вблизи многолучевой линзовой антенны миллиметрового диапазона в условиях сложной городской среды [Текст] / Д. В. Кусайкин, Д. В. Денисов, А. Е. Каменсков // Сборник трудов конференции. — 2022. — С. 114—119.

10. Кусайкин, Д. В. Анализ архитектур многолучевых сферических линзовых антенн систем MIMO для сетей 5G [Текст] / Д. В. Кусайкин, А. Е. Каменсков, Д. В. Денисов // Труды конференции ИжГТУ им. М. Т. Калашникова. — Ижевск, 2022. — С. 752—756.

11. Носков, В. Я. Способы подбора шага 3D-печати линзы Люнеберга [Текст] / В. Я. Носков, Д. В. Денисов // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии. — 2022. — № 4. — С. 73—74. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50044906>.

12. Денисов, Д. В. Исследование характеристик антенной системы на основе линзы Люнеберга при смещении первичного облучателя из фокуса [Текст] / Д. В. Денисов, А. А. Тангамян // Российская научно-техническая конференция «Обработка информации и математическое моделирование» : сборник трудов. — Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2021. — С. 528—534. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47147457>.

13. Денисов, Д. В. Способы реализации и применение современных линзовых антенных систем [Текст] / Д. В. Денисов, А. А. Тангамян // Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций : материалы XVI международной научно-технической конференции. — Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2020. — С. 85—86. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44620055>.

14. Денисов, Д. В. Возможности программных продуктов ANSYS для проектирования устройств Интернета вещей (IoT): связка HFSS–EMIT–SAVANT [Текст] / Д. В. Денисов // Ural Radio Engineering Journal. — Екатеринбург : Уральский федеральный университет, 2019.

15. Денисов, Д. В. Анализ электромагнитной совместимости многоантенных систем в среде Ansys EMIT [Текст] / Д. В. Денисов, И. Р. Зарипова // Материалы международной научно-технической конференции. — Екатеринбург : Уральский федеральный университет, 2019.

16. Panchenko, B. Antenna properties of the modified Luneburg lens with backward radiation [Text] / B. Panchenko, D. Denisov, S. Shabunin // 12th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2018). — 2018. — P. 1—3.

17. Денисов, Д. В. Первичные облучатели линзы Лüneберга для суммарно-разностного режима работы [Текст] / Д. В. Денисов // Разработка и применение фондов оценочных средств в рамках реализации образовательных программ: материалы 58 (LVIII) межвузовской научно-методической конференции. — 2017. — С. 55—56.

18. Денисов, Д. В. Рассеяние электромагнитных волн сотовых диапазонов на многослойной сферической модели [Текст] / Д. В. Денисов, К. А. Санникова, Д. Э. Королёв // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. — 2017. — № 1. — С. 161—170.

19. Измерение параметров материалов [Текст] / Д. В. Денисов [и др.] // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета

связи и информатики. — 2017. — № 1. — С. 170—175. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30074340>.

20. Техническая реализация многослойных линзовых антенн Люнеберга [Текст] / Д. В. Денисов [и др.] // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. — 2017. — № 1. — С. 153—161.

21. Денисов, Д. В. Влияние системы перемещения облучателя вдоль поверхности линзы Люнеберга на характеристики антенной системы [Текст] / Д. В. Денисов, Б. А. Панченко, В. О. Фадеев // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. — 2016. — № 1. — С. 102—106.

22. Денисов, Д. В. Линза Люнеберга с облучателем в виде микрополосковой антенны в режиме круговой поляризации для Wi-Fi [Текст] / Д. В. Денисов, В. О. Фадеев, Д. С. Русинов // Актуальные вопросы технических наук в современных условиях: сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. — 2016. — С. 107—111.

23. Панченко, Б. А. Математическое моделирование антенны на базе линзы Люнеберга при круговой поляризации поля [Текст] / Б. А. Панченко, Д. В. Денисов, В. В. Мохова // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. — 2014. — № 1. — С. 296—299.

24. Использование линзы Люнеберга для повышения эффективности передачи данных в сетях подвижной связи 4G [Текст] / А. Г. Абакумова [и др.] // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. — 2013. — № 1. — С. 27—29.

25. Панченко, Б. А. Облучение линзы Люнеберга источниками поля круговой поляризации [Текст] / Б. А. Панченко, Д. В. Денисов // Научные труды SWorld. — 2013. — Т. 10, № 3. — С. 71—76.

1. Патент на изобретение № 2792315. Способ радиолокационного контроля состояния стрелочного перевода сортировочной горки и датчик его реализующий [Текст] / В. Я. Носков [и др.] (Российская Федерация) ; заявитель АО «Научно-производственное предприятие «Радиосвязь»». — № 2022126622 ; заявл. 12.10.2022 ; опубл. 21.03.2023, Бюл. № 9 ; приоритет 12.10.2022, 2022126622 (Рос. Федерация). — 10 с. : ил. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50432528>.

2. Патент на изобретение № 2815559. Способ фиксации момента отделения отцепа от состава и радиолокационный датчик его реализующий (варианты) [Текст] / В. Я. Носков [и др.] (Российская Федерация) ; заявитель АО «Научно-производственное предприятие «Радиосвязь»» ; патент. поверенный Зубов Ю. С. — № 2023124930 ; заявл. 28.09.2023 ; опубл. 18.03.2024, Бюл. № 7 (I ч.) ; приоритет 01.01.2020, 09/289, 037 (Рос. Федерация). — 5 с. : ил.

Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ (3)

1. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2016616168. Расчет антенных и дифракционных характеристик линзы Люнеберга в режиме круговой поляризации [Текст] / Д. В. Денисов [и др.] ; АО «Особое конструкторское бюро «Пеленг»» (АО «ОКБ «Пеленг»»). — № 2016611044 ; заявл. 11.02.2016 ; опубл. 07.06.2016, 2016616168 (Рос. Федерация).

2. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2017616708. Расчет диаграмм рассеяния на неоднородных сферических телах [Текст] / Д. В. Денисов, Б. А. Панченко, О. П. Пономарев ; АО «Уральское производственное предприятие «Вектор»» (АО УПП «Вектор»). — № 2017614007 ; заявл. 27.04.2017 ; опубл. 16.06.2017, 2017616708 (Рос. Федерация).

3. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2023688035. Расчёт параметров линзы Люнеберга в среде Ansys HFSS [Текст]

/ Д. В. Денисов, Д. В. Кусайкин ; ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» (СибГУТИ). — № 2023681224 ; заявл. 12.10.2023 ; опубл. 20.12.2023, 2023688035 (Рос. Федерация).