

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА
ЮФУ801.02.07,**

созданного на базе Института радиотехнических систем и управления
федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Южный федеральный университет»,
по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

*аттестационное дело № _____,
решение диссертационного совета
от 18 сентября 2025 г. № 8*

О присуждении **Мигалину Михаилу Михайловичу**, гражданину Российской Федерации ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Исследование особенностей построения антенных решеток миллиметрового диапазона длин волн» по специальности 2.2.14. Антенны, СВЧ-устройства и их технологии принята к защите 6 июня 2025 г. (протокол заседания № 4) диссертационным советом ЮФУ801.02.07, созданным на базе Института радиотехнических систем и управления федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный университет» в соответствии с приказом ЮФУ № 371-ОД от 22.12.2022 г.

Соискатель Мигалин Михаил Михайлович, 09.08.1996 года рождения в 2020 году окончил федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет» (квалификация «магистр» по направлению подготовки 11.04.01 Радиотехника). В 2024 году окончил аспирантуру федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный университет» по направлению подготовки 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи (специальность «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии»). С 2022 года по настоящее время работает в должности старшего лаборанта кафедры антенн и радиопередающих устройств Института радиотехнических систем и управления федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре антенн и радиопередающих устройств Института радиотехнических систем и управления федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – Обуховец Виктор Александрович, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет», профессор Передовой инженерной школы «Инженерия киберплатформ».

Официальные оппоненты:

Габриэльян Дмитрий Давидович, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное унитарное предприятие «Ростовский-на-Дону научно-исследовательский институт радиосвязи», г. Ростов-на-Дону, заместитель начальника научно-технического комплекса по науке;

Бобков Николай Иванович, кандидат технических наук, Акционерное общество «Всероссийский научно-исследовательский институт «Градиент», главный научный сотрудник научно-технического сектора разработки и испытаний антенно-фидерных устройств

дали положительные отзывы на диссертацию.

Соискатель имеет 14 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 14 работ, из них в научных изданиях, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, представленных для защиты в диссертационные советы Южного федерального университета (далее – Перечень ВАК), опубликовано 7 работ; в сборниках трудов конференций, входящих в базы данных международных индексов научного цитирования Scopus и/или Web of Science, опубликовано 5 работ. Общий объем научных публикаций по теме диссертации – 9,375 п. л., авторский вклад в общем объеме научных публикаций – 8,86 п. л.

Основные научные публикации по теме диссертации:

1. Мигалин, М. М. Снижение взаимной связи печатных антенных элементов с помощью генетического алгоритма / М. М. Мигалин, В. А. Обуховец // Антенны. – 2024. – № 3(289). – С. 65-74. – DOI 10.18127/j03209601-202403-08 (входит в Перечень ВАК, К2).

2. Мигалин, М. М. Особенности применения генетического алгоритма для синтеза печатных антенн / М. М. Мигалин, В. А. Обуховец // Радиотехника. – 2024. – Т. 88, № 5. – С. 129-135. – DOI 10.18127/j00338486-202405-15 (входит в Перечень ВАК, К1).

3. Мигалин, М. М. Определение параметров фольгированных диэлектриков с помощью печатных структур / М. М. Мигалин, В. А. Обуховец // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2024. – № 6(242). – С. 257-266. – DOI 10.18522/2311-3103-2024-6-257-266 (входит в Перечень ВАК, К2).

4. Мигалин, М. М. Применение макросов для автоматизированного выполнения однотипных операций при моделировании в САПР Ansys HFSS волноводно-щелевых антенн, построенных по SIW-технологии / М. М. Мигалин, В. Г. Кошкидько, В. В. Демшевский // Антенны. – 2023. – № 1(281). – С. 63-77. – DOI 10.18127/j03209601-202301-04 (входит в Перечень ВАК, К2).

5. Кошкидько, В. Г. Исследование частотной зависимости диаграммы направленности резонансной волноводно-щелевой антенной решетки, состоящей из подрешеток, в САПР Ansys HFSS / В. Г. Кошкидько, М. М. Мигалин // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. – 2020. – Т. 23, № 4. – С. 15-24. – DOI 10.32603/1993-8985-2020-23-4-15-24 (входит в Перечень ВАК, К2).

6. Кошкидько, В. Г. Применение макросов языка VBScript при моделировании волноводно-щелевых антенн в САПР Ansys HFSS / В. Г. Кошкидько, М. М. Мигалин // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. – 2020. – Т. 23, № 1. – С. 6-17. – DOI 10.32603/1993-8985-2020-23-1-6-17 (входит в Перечень ВАК, К2).

7. Обуховец, В. А. Повышение спектральной эффективности систем ММО за счет снижения взаимной корреляции антенных элементов / В. А. Обуховец, М. М. Мигалин // Антенны. – 2018. – № 8(252). – С. 38-45 (входит в Перечень ВАК, К2).

В диссертации отсутствуют достоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах. Приведены ссылки на все использованные в диссертации результаты научных работ, выполненные соискателем лично и в соавторстве. В диссертации отсутствуют заимствования без ссылок на авторов или источник заимствования.

На автореферат поступили отзывы:

1. АО «Таганрогский научно-исследовательский институт связи», г. Таганрог. *Отзыв положительный.* Подписал ученый секретарь научно-технического совета, кандидат технических наук, старший научный сотрудник Гришков Александр Федорович, 1 замечание:

- в автореферате упомянуты акты о внедрении результатов диссертационного исследования, которые приведены в приложении А, но само приложение в автореферате отсутствует.

2. ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет», г. Краснодар. *Отзыв положительный.* Подписал профессор кафедры радиофизики и нанотехнологий, доктор технических наук, доцент Коротков Константин Станиславович, 1 замечание:

- отсутствие сравнительного анализа существующих на данный момент методов автоматического или автоматизированного синтеза антенных излучателей и антенных решеток.

3. ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь. *Отзыв положительный.* Подписал кандидат технических наук, доцент, Ермолов Павел Петрович, 3 замечания:

- в автореферате не приведен анализ устойчивости генетического алгоритма к вариациям начальных условий или сходимости при разных параметрах алгоритма;

- в автореферате отсутствует сравнительный анализ генетического алгоритма и других методов оптимизации;

- в названии диссертационной работы слово «длин» — лишнее.

4. АО «Таганрогский научно-исследовательский институт связи», г. Таганрог. *Отзыв положительный.* Подписал кандидат технических наук, старший научный сотрудник Зикий Анатолий Николаевич, 2 замечания:

- современные САПР имеют в своем арсенале различные методы оптимизации, включая генетический алгоритм; в работе не приведено сравнение предложенного метода с существующими в САПР решениями;

- экспериментальные исследования ограничены диапазоном 25-50 ГГц, что

не полностью охватывает весь заявленный миллиметровый диапазон.

5. ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», г. Москва. *Отзыв положительный.* Подписали: профессор кафедры № 406 «Радиофизика, антенны и микроволновая техника», доктор технических наук, профессор Гринёв Александр Юрьевич и доцент кафедры № 406 «Радиофизика, антенны и микроволновая техника», кандидат технических наук, доцент Багно Дмитрий Витальевич, 6 замечаний:

- результаты, полученные автором применительно к диапазону КВЧ, могут использоваться и в более длинноволновых диапазонах (СВЧ); из автореферата не ясно, в связи с чем автор ограничил себя только диапазоном КВЧ;

- расположение пикселей на рисунке 5 автореферата – нерегулярное; из автореферата не ясен алгоритм выбора топологии проводящего рисунка, образующего печатный излучающий элемент, а также степень новизны алгоритма;

- не ясно, как предложенное разбиение ультра-миниатюрного патч-излучателя диапазона КВЧ на еще более мелкие пиксели согласуется с решением отмеченной в автореферате проблемы технологических ограничений, возникающей при воспроизведении топологии на производстве;

- заявленный в названии диссертации термин «антенные решетки» в автореферате освещен недостаточно, также из автореферата не ясно, о каких «особенностях построения антенных решеток» идет речь;

- из автореферата не ясно влияние параметров генетического алгоритма, в частности вероятности мутации и размера популяции, на результативность синтеза антенн и развязывающих элементов топологии проводящего рисунка;

- не ясны перспективы метрологической аттестации модифицированной методики измерения электромагнитных параметров листовых фольгированных диэлектриков.

6. ФГКВБОУ ВО «Краснодарское высшее военное орденов Жукова и Октябрьской Революции Краснознаменное училище имени генерала армии С. М. Штеменко», г. Краснодар. *Отзыв положительный.* Подписал старший научный сотрудник научно-исследовательского центра, кандидат технических наук Харланов Дмитрий Валентинович, 2 замечания:

- в автореферате не приведена информация о времени определения значений целевой функции для одной конструкции антенны для определения эффективности предложенного метода;

- в разделе, посвященном определению диэлектрической проницаемости фольгированного диэлектрика, не описана конструкция многомодовых SIW-резонаторов и способы их применения.

7. АО «Всероссийский научно-исследовательский институт «Градиент», г. Ростов-на-Дону. *Отзыв положительный.* Подписал начальник научно-технического сектора разработки и испытаний антенных устройств, Проживальский Валентин Витальевич, 2 замечания:

- некоторые рисунки в автореферате, иллюстрирующие графические зависимости, выполнены тонкими сплошными линиями, что затрудняет их восприятие;

- в автореферате главы диссертации разбиты на подразделы, в то время как ГОСТ Р 7.0.11 предусматривает разбиение глав на параграфы.

8. ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет им. В. Ф. Уткина», г. Рязань. *Отзыв положительный.* Подписал заведующий кафедрой «Радиотехнические устройства», доктор технических наук, профессор Паршин Юрий Николаевич, 2 замечания:

- перед рисунком 11 упоминается о четырех моделях потерь в проводниках, обеспечивших наименьшую среднеквадратичную ошибку между экспериментальными данными и результатами моделирования в САПР, однако не приводится их описание;

- автором не показаны границы применимости временного решателя при синтезе печатных антенн.

9. ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск. *Отзыв положительный.* Подписал профессор кафедры радиотехники, кандидат технических наук, профессор Саломатов Юрий Петрович, 6 замечаний:

- не ясно, как выбирается количество частотных точек N при вычислении целевой функции, зависит ли оно от полосы частот МПА, меняется ли в процессе синтеза, зависит ли от N значение целевой функции;

- для синтезированных МПА не приведены данные о кроссполяризационных составляющих их полей;

- из рис. 2 автореферата следует, что целевая функция рассчитывается в CST, реально это вычисление, очевидно, выполняется в MATLAB, как следует из рис. 3;

- из рис. 4 видно, что в качестве «базовой антенны» при выполнении синтеза широкополосного излучателя взята узкополосная МПА, не ясно, зависят ли результаты синтеза от «близости» параметров базовой и синтезируемой антенн?;

- в автореферате не приводятся ДН синтезированных антенн, не ясно, влияют ли предлагаемые «дефекты экрана» на направленные свойства МПА, в частности, на обратное излучение;

- символ K в автореферате обозначает либо «максимально допустимый уровень рассогласования» (стр. 9), либо «максимально допустимый уровень взаимной связи» (стр. 15).

10. ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург. *Отзыв положительный.* Подписал заведующий кафедрой радиоэлектроники и телекоммуникаций, доктор технических наук, профессор Шабунин Сергей Николаевич, 4 замечания:

- нарушение структуры проводящей поверхности должно приводить к снижению КПД антенны; нарушение целостности проводящего экрана МПА способствует проникновению поля за экран, что также снижает КПД; увеличение потерь в антенне приводит к улучшению ее согласования; в работе отсутствуют данные об оценке влияния указанных потерь и эффективности излучения исследуемых МПА;

- из рисунка 5 видна асимметричность антенн с пикселями, что скорее всего приводит ухудшению поляризационных свойств излучателей; к сожалению, информация поляризации формируемого антеннами поля в полосе частот

отсутствует;

- заявленный автором выигрыш в полосе согласования по уровню -10 дБ разработанных образцов и базовой антенны, судя по графикам на рисунке 6, не очевиден; результаты далеки от расчетных, показанных на рисунке 4;

- на рисунке 9 показана антенная решетка из двух элементов, разнесенных в плоскости вектора \mathbf{H} ; к сожалению, в автореферате отсутствует топология разработанного устройства, повышающего развязку между соседними излучателями, кроме того, плата для экспериментального исследования взаимодействия между элементами на рисунке 11 не соответствует рассмотренной на рис. 9, так как элементы разнесены в плоскости вектора \mathbf{E} .

Выбор официальных оппонентов обосновывается их высокой квалификацией в отрасли науки, соответствующей теме диссертации: Габриэлян Дмитрий Давидович является доктором технических наук по научной специальности 20.02.25 «Военная электроника, аппаратура комплексов специального назначения», ведет научные исследования в области систем радиосвязи и радионавигации; Бобков Николай Иванович является кандидатом технических наук по научной специальности 20.02.25 «Военная электроника, аппаратура комплексов специального назначения», ведет научные исследования в области многолучевых и частотно-независимых антенных систем. Оба оппонента имеют публикации в рецензируемых научных изданиях в сфере исследования, соответствующей теме диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- разработана методика автоматического синтеза широкополосных микрополосковых антенн и развязывающих устройств, проведены численные и экспериментальные исследования 30 опытных образцов микрополосковых антенн и двухэлементных антенных решеток в диапазоне 25 – 50 ГГц;

- предложена новая методика определения диэлектрической проницаемости фольгированных диэлектриков и экспериментально определены диэлектрические свойства заданного фольгированного диэлектрика с помощью 104 изготовленных одномодовых SIW-резонаторов; проведена верификация экспериментальных результатов с помощью метода разности фаз, одномодовых и многомодовых SIW-резонаторов;

- предложена и апробирована методика оценки влияния технологических погрешностей на результаты синтеза микрополосковых антенн и развязывающих структур на основе оптических измерений.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- предложена методика автоматического синтеза печатных антенн и развязывающих устройств на основе эффективного применения генетического алгоритма, учитывающая как направленные, так и частотные свойства синтезируемых конструкций;

- разработаны электродинамические модели синтезированных невыступающих микрополосковых антенн и развязывающих устройств, полученных при комбинации возможностей САПР CST и системы математического программирования MATLAB;

- сформулирована постановка задачи автоматического синтеза как одиночного излучателя с расширенной полосой частот, так и развязывающих устройств;

- разработана методика определения относительной диэлектрической проницаемости с помощью изменения коэффициента связи возбуждающего волновода и одномодового SIW-резонатора.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- на основе предложенной методики разработан пакет программ для автоматического синтеза микрополосковых антенн и невыступающих развязывающих устройств миллиметрового диапазона, объединяющий возможности САПР для электромагнитного моделирования и MATLAB для реализации генетического алгоритма, использование которого упрощает процесс разработки антенн и развязывающих устройств; достигнуто 13-кратное расширение полосы согласования печатной антенны и улучшение развязки между двумя печатными антеннами на 19% относительно базовой конструкции;

- результаты оптического исследования изготовленных прототипов антенных устройств миллиметрового диапазона могут быть использованы для анализа чувствительности разрабатываемых антенных устройств к фактическим производственным допускам;

- оценка значения относительной диэлектрической проницаемости в диапазоне 30-170 ГГц с помощью статистического моделирования производственных погрешностей методом Монте-Карло может быть использована при выборе метода определения относительной диэлектрической проницаемости;

- результаты диссертации внедрены в систему микроволнового усиления для микрофлюидной технологии ускоренного синтеза новых фундаментальных наноматериалов, разработанную в ходе реализации Программы стратегического академического лидерства университета «Приоритет 2030» (хоздоговорная работа № СП-111-22-02), а также в проект по созданию высокотехнологичного производства аппаратно-программных комплексов обработки сельхозсырья на основе СВЧ-излучения (хоздоговорная работа № ХД-19-25-РТ).

Полученные результаты **рекомендуется использовать** при выполнении НИОКР, посвящённых разработке антенно-фидерных устройств перспективных систем связи миллиметрового диапазона.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- высокое соответствие физических и математических моделей: исследование выполнено с использованием современных подходов к моделированию электромагнитных структур, а результаты применения методики автоматического конструктивного синтеза печатных антенн и развязывающих устройств, полученные в диссертационной работе, подтверждаются анализом электродинамических моделей излучателей в САПР и результатами экспериментального исследования макетов антенн;

- результаты определения относительной диэлектрической проницаемости с помощью модифицированной резонаторной методики подтверждаются

