



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе
ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный
университет»

Денис Сергеевич Гуц

18 июня 2026 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного автономного образовательного
учреждения высшего образования «Сибирский федеральный университет»

Диссертация «Совмещенная антенная решетка К/Q-диапазонов с гибридной системой питания» выполнена на кафедре «Радиотехника».

В период подготовки диссертации соискатель Полигина Анастасия Дмитриевна обучалась в очной аспирантуре Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский федеральный университет», кафедра «Радиотехника», работала в должности инженера-конструктора отдела по разработке АФУ и пассивных СВЧ устройств в АО «НПП «Радиосвязь».

В 2021 г. окончила магистратуру в ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» по направлению 11.04.01 «Радиотехника».

В 2025 г. окончила очную аспирантуру при ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» по направлению 11.06.01 «Электроника, радиотехника и системы связи». Присуждена квалификация «Исследователь. Преподаватель-исследователь».

Справка № 1469 о сдаче кандидатских экзаменов выдана 15 июня 2026 г. Федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Сибирский федеральный университет».

Научный руководитель – Саломатов Юрий Петрович, профессор, кандидат технических наук, Федеральное государственное автономное образовательное учре-

ждение высшего образования «Сибирский федеральный университет», кафедра «Радиотехника».

Оценка выполненной соискателем работы

Диссертация Полигиной Анастасии Дмитриевны является научно-квалификационной работой, в которой решаются задачи по разработке и исследованию совмещенной двухдиапазонной антенной решетки (АР) К/Q-диапазонов с гибридной системой питания, обеспечивающей работу в полосах приема 19,0-21,2 ГГц и передачи 43,5-45,5 ГГц при сохранении низкого профиля конструкции для применения в мобильных и носимых терминалах спутниковой связи.

В результате проведенных автором исследований были получены результаты, заключающиеся в следующем: предложен принцип построения совмещенной двухдиапазонной апертуры на основе элементарной ячейки, содержащей один излучающий элемент К-диапазона и три излучающих элемента Q-диапазона; разработаны два типа широкополосных излучателей (на связанных микрополосковых резонаторах и на апертурной связи через Н-образную щель), решающие проблему узкополосности микрополосковых резонаторов в условиях ограничения по высоте; разработана гибридная система питания, в которой совместно применены полосковая, SIW и волноводная технологии для построения распределительных сетей и сумматоров мощности со щелевыми и волноводно-коаксиальными переходами (ВКП); изготовлены и экспериментально исследованы две конструкции совмещенных АР.

Актуальность темы

Развитие современных систем спутниковой связи характеризуется постепенным переходом к использованию более высокочастотных диапазонов, включая К (18-27 ГГц), Ка (26,5-40 ГГц) и Q (33-50 ГГц). Данная тенденция обусловлена, с одной стороны, ограниченностью доступного частотного ресурса в традиционно используемых диапазонах (С- и Х-диапазонах), а с другой – необходимостью повышения пропускной способности спутниковых каналов связи. В большинстве спутниковых систем частоты приема и передачи разнесены и относятся к различным частотным поддиапазонам, что обуславливает необходимость разработки антенных устройств, обеспечивающих эффективное излучение и прием электромагнитных волн в двух существенно разнесенных частотных диапазонах.

В Российской Федерации для спутниковой связи выделены полосы приема 19,0-21,2 ГГц (К-диапазон) и передачи 43,5-45,5 ГГц (Q-диапазон). Анализ доступной

отечественной и зарубежной литературы показывает, что технические решения для приемо-передающих АР, которые одновременно охватывали бы эти полосы и при этом сохраняли низкий профиль, представлены крайне ограниченно. Известные зарубежные разработки ориентированы на иные частотные планы и конструктивные условия, поэтому их прямое использование для указанных полос невозможно.

Отношение центральных частот рабочих диапазонов превышает 2,2, что означает существенное различие электрических размеров и шагов размещения элементов для нижнего и верхнего диапазонов. Это требует продуманного выбора геометрии и топологии, а не механического объединения двух решеток. Кроме того, разработка подобных АР сопряжена с ростом потерь в трактах питания, трудностями обеспечения стабильного электрического контакта в волноводных узлах и необходимостью совмещения двух сильно разнесенных по частоте диапазонов на общей апертуре без увеличения профиля конструкции.

Таким образом, тема диссертационной работы, посвященная созданию совмещенных низкопрофильных АР для указанных частотных диапазонов, является актуальной и востребованной.

Личное участие автора в получении результатов

Результаты исследований, представленные в диссертационной работе и сформулированные в виде научных положений, получены автором лично или при его непосредственном участии. Личный вклад автора включает: аналитический обзор и постановку задач; разработку концепций и топологии излучающих элементов и гибридных систем питания; трехмерное электродинамическое моделирование и параметрическую оптимизацию всех структур; проведение экспериментальных измерений макетов; обработку и интерпретацию результатов; подготовку основных публикаций и апробацию на конференциях.

Степень достоверности результатов

Достоверность результатов обеспечивается применением современных высокоточных систем автоматизированного проектирования для электродинамического анализа с использованием различных вычислительных методов (метод конечного интегрирования, метод конечных элементов), корректным использованием численных и аналитических подходов, а также применением прецизионного измерительного оборудования и проверенных экспериментальных методик. Результаты работы являются воспроизводимыми, установлено хорошее количественное и качественное соответствие данных элек-

тродинамического моделирования, экспериментальных исследований и теоретических выкладок.

Новизна результатов

1. Предложен принцип построения двухдиапазонной апертуры на основе ячейки АР, содержащей излучающие элементы К- и Q-диапазонов, отличающийся тем, что апертурный коэффициент использования поверхности (КИП) в К-диапазоне составляет 0,95-1,0, а в Q-диапазоне – 0,75 при сохранении эффективного заполнения поверхности.

2. Предложен способ расширения полосы согласования и повышения междиапазонной изоляции межслойных переходов, отличающийся применением апертурной связи через Н-образную щель, при увеличении полосы частот до 27,4% в К-диапазоне и до 14,2% в Q-диапазоне, изоляции до 35 дБ.

3. Предложена гибридная система питания, отличающаяся общим полосковым слоем К- и Q-трактов и использованием металлических волноводных сумматоров, что обеспечивает получение максимально достижимых КПД 42,1% в К- и 23,4% в Q-диапазонах.

4. Предложено совокупное применение в системе питания щелевых переходов, разнесения К- и Q-трактов по слоям многослойной печатной платы, SIW и гарволноводных сумматоров, что обеспечивает повышение КПД до 50,2% и 33,2% в К- и Q-диапазонах соответственно.

Практическая значимость диссертации и использование полученных результатов

Разработаны компактные двухдиапазонные АР К/Q-диапазонов с гибридной системой питания, обеспечивающие работу в полосах 19,0-21,2 ГГц и 43,5-45,5 ГГц при низком профиле конструкции. Для первой конструкции экспериментально получены КПД 42,1% в К-диапазоне и 23,4% в Q-диапазоне, КСВН не более 1,75, уровень боковых лепестков (УБЛ) менее минус 10 дБ и коэффициент эллиптичности (КЭ) не менее 0,83. Для второй конструкции экспериментально получены КПД до 50,2 % в К-диапазоне и 33,2% в Q-диапазоне, КСВН не более 1,7, УБЛ менее минус 11,4 дБ и КЭ не менее 0,8.

Основные результаты диссертации получены при выполнении опытно-конструкторских и научно-исследовательских работ, выполненных в АО «НПП «Ра-

диосвязь» и в СФУ за период 2021-2026 г. Использование результатов диссертационной работы подтверждены соответствующими актами.

Ценность научных работ соискателя

Новизна исследований Полигиной А.Д. подтверждается получением патента на полезную модель и свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Ценность работы соискателя заключается в разработке: совмещенной элементарной ячейки с одним К- и тремя Q-излучателями, обеспечивающей апертурный КИП до 1,0 в К-диапазоне и 0,75 в Q-диапазоне; двухдиапазонных излучающих элементов на связанных резонаторах и на апертурной связи через H-образную щель с полосой согласования до 27,4% в К-диапазоне и 14,2% в Q-диапазоне; гибридных систем питания на основе полосковых линий, SIW и гар-волноводов, обеспечивающих КПД до 50,2% в К-диапазоне и 33,2% в Q-диапазоне. Представленные в работе экспериментальные и теоретические результаты имеют высокую практическую значимость в области создания антенных устройств систем связи.

Соответствие требованиям пункта 14 Положения ВАК

Требования, установленные пунктом 14 Положения ВАК, выполнены: в диссертации автор ссылается на источники заимствования материалов, во Введении автор отметил, что часть результатов получена совместно с соавторами научных публикаций и в каждом оригинальном разделе диссертации привел ссылки на работы.

Специальность, которой соответствует диссертация

Диссертация Полигиной Анастасии Дмитриевны соответствует специальности 2.2.14 – «Антенны, СВЧ устройства и их технологии» в области исследования «Исследование характеристик антенн и СВЧ устройств для их оптимизации и модернизации, что позволяет осваивать новые частотные диапазоны, обеспечивать электромагнитную совместимость, создавать высокоэффективную технологию и т.д.» по п. 2 паспорта специальности.

Полнота изложенных материалов в печатных работах, опубликованных автором

По результатам исследований получены 1 патент на полезную модель, 3 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ и опубликовано 16 научных работ, включая 7 статей в рекомендованных ВАК РФ изданиях, из них 2 в журнале, переводная версия которого индексируется в базе Scopus, а также 7 докладов в трудах конференций.

Статьи в журналах из перечня ВАК:

1. Полигина А.Д., Таганов А.В. Целевой переход с GAP-волновода на симметричную полосковую линию передачи в миллиметровом диапазоне длин волн / Письма в журнал технической физики. 2022. Том. 48, №19, С. 24-26.
2. Полигина А.Д., Руженцев А.Е., Голубович Е.Д., Таганов А.В. Волноводная система питания на GАР-волноводах для двухдиапазонной низкопрофильной антенной решетки в миллиметровом диапазоне длин волн / Успехи современной радиоэлектроники, 2023, т. 77, №12, С. 26-34.
3. Полигина А.Д., Таганов А.В. Двухдиапазонный излучающий элемент круговой поляризации на связанных резонаторах для работы в миллиметровом диапазоне длин волн / Письма в журнал технической физики. 2024. Том. 50, №4, С. 7-9.
4. Полигина А.Д., Руженцев А.Е., Голубович Е.Д., Таганов А.В. Совмещенная низкопрофильная антенная решетка С-диапазона / Успехи современной радиоэлектроники, 2025, т. 79, №2, С. 30-38.
5. Полигина А.Д., Саломатов Ю.П. Компактный широкополосный переход SIW – гар-волновод с реактивной компенсацией для диапазона частот 41...47 ГГц / Антенны. 2026. №2. С. 71-77.
6. Полигина А.Д., Поленга С.В., Стригова Е.А. Низкопрофильная сканирующая антенная решетка с использованием механически управляемых фазовращателей / Изв. вузов России. Радиоэлектроника. 2025. Т. 28, № 4. С. 36–46.
7. Полигина А.Д., Таганов А.В., Саломатов Ю.П. Совмещенный микрополосковый излучатель К/Q-диапазонов на апертурной связи с разнонаправленной круговой поляризацией // Антенны. 2026. № 3. С. 55–63.

Патенты:

- 1 Полигина А.Д., Таганов А.В. Двухдиапазонная низкопрофильная антенная решетка К/Q-диапазонов с комбинированной системой питания №243188 от 30.04.2026.

Свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ:

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024617109. «Расчет усредненной диэлектрической проницаемости для проектирования многослойных печатных плат» // Полигина А.Д. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 28.03.2024 г.

2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025661741. «Волновое сопротивление полосковой симметричной линии передачи с учетом усредненной диэлектрической проницаемости подложек» // Полигина А.Д. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 13.05.2025 г.

3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025688589 «Потери в симметричной полосковой линии передачи с учетом шероховатости проводников» // Полигина А.Д. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 19.09.2025 г.

Доклады в трудах конференций:

1. Полигина А. Д., Поленга С.В. Двухдиапазонная фазированная антенная решетка с микрополосковой схемой питания. Проспект Свободный – 2021: материалы XVII Междунар.конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Красноярск, 19–24 апреля 2021 г. [Электронный ресурс] /–Красноярск: Сиб. федер. ун. , 2021.С-2318-2321.

2. Полигина А.Д., Таганов А.В., Саломатов Ю.П. Двухдиапазонный микрополосковый излучающий элемент для построения высокоэффективных антенных решеток / Современные проблемы радиоэлектроники: материалы XXII Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Красноярск, 11-14 мая 2022 г. – С. 237-242.

3. Полигина А.Д., Руженцев А.Е., Голубович Е.Д., Таганов А.В. Построение бинарного двухдиапазонного сумматора на GAP-волноводах для работы в К- и Q-диапазонах / Системы связи и радионавигации: сб. тезисов / науч. ред. Б.А. Беляев, д.т.н., профессор Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева; отв. за вып. Г.П. Лопардина. – Красноярск: АО «НПП «Радиосвязь», 2023. – С. 47-51.

4. Полигина А.Д., Руженцев А.Е., Голубович Е.Д., Таганов А.В. НИЗКОПРОФИЛЬНАЯ ОБЛЕГЧЕННАЯ ДВУХДИАПАЗОННАЯ АНТЕННАЯ РЕШЕТКА / Системы связи и радионавигации: материалы VIII Всерос. науч.-техн. конф. «Системы связи и радионавигации». Красноярск, 12-14 ноября 2024 г. / отв. за вып. Г.П. Лопардина. – Красноярск: АО «НПП «Радиосвязь», 2024. С. 98-102.

5. Полигина А.Д., Таганов А.В. Широкополосная низкопрофильная носимая антенная решетка X-диапазона на апертурной связи / Системы связи и радионавигации: материалы IX Всерос. науч.-техн. конф. «Системы связи и радионавигации».

Красноярск, 16-18 сентября 2025 г. / отв. за вып. Г.П. Лопардина. – Красноярск : АО «НПП «Радиосвязь», 2025. – С. 91-94.

6. Полигина А.Д., Таганов А.В. Технологичная комбинированная антенная решетка Q-диапазона с возможностью совмещения с К-диапазоном / Системы связи и радионавигации : материалы IX Всерос. науч.-техн. конф. «Системы связи и радионавигации». Красноярск, 16-18 сентября 2025 г. / отв. за вып. Г.П. Лопардина. – Красноярск : АО «НПП «Радиосвязь», 2025. – С. 122-126.

7. Усреднение диэлектрической проницаемости при проектировании многослойных печатных плат / Полигина А.Д. Системы связи и радионавигации : материалы X Всерос. науч.-техн. конф. «Системы связи и радионавигации». Красноярск, 15-17 сентября 2026 г. / отв. за вып. Г.П. Лопардина. – Красноярск : АО «НПП «Радиосвязь», 2026. С. 316-319.

Диссертация «Совмещенная антенная решетка К/Q-диапазонов с гибридной системой питания» Полигиной Анастасии Дмитриевны рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.14 – «Антенны, СВЧ устройства и их технологии».

Заключение принято на расширенном заседании научного семинара кафедры «Радиотехника».

Присутствовало на заседании – 19 чел. С правом решающего голоса – 15 чел. Результаты голосования: «за» – 15 чел., «против» – 0 чел., «воздержалось» – 0 чел., протокол № 2 от 17.06.2026 г.

Минаков Андрей Викторович,
д-р физ.-мат. наук, доцент,
директор института инженерной физики
и радиоэлектроники

