

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе

доктор технических наук, доцент

Брованов Сергей Викторович



С.В. Брованов
15 марта 2022 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет»

Диссертация «Печатные многолучевые антенные решётки с модифицированными фазовращателями и излучателями дипольного вида» выполнена на кафедре «Радиоприемные и радиопередающие устройства».

В период подготовки диссертации соискатель Паршин Юрий Николаевич являлся аспирантом очной формы обучения федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» на кафедре «Радиоприемные и радиопередающие устройства» (РПиРПУ) по направлению подготовки 11.06.01 – «Электроника, радиотехника и системы связи», нормативный период обучения с 01.09.2018 года по 31.08.2022 года.

В 2018 году окончил магистратуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» по направлению 11.04.02 – «Инфокоммуникационные технологии и системы связи».

Справка № 603 о сдаче кандидатских экзаменов выдана в 2022 г. федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Новосибирский государственный технический университет».

Научный руководитель - доктор технических наук, доцент Горбачев Анатолий Петрович, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский

государственный технический университет», кафедра «Радиоприемные и радиопередающие устройства», профессор кафедры.

По итогам обсуждения принято следующее заключение.

1. Оценка выполненной соискателем работы

Диссертационная работа Паршина Юрия Николаевича является научно-квалификационной работой, в которой электродинамическая теория классических дипольных антенн обобщена на новые излучатели дипольного вида, питаемые на удалённых клеммах обоих коллинеарных цилиндрических проводников, смежные клеммы которых находятся в непосредственной близости. Кроме того, классический метод анализа линейных электрических цепей сверхвысоких частот (СВЧ) на основе декомпозиционного и рекомпозиционного подходов обобщён соискателем на сверхширокополосные дифференциальные фазовращатели из отрезков электромагнитно связанных полосковых линий с поперечными ТЕМ-волнами, защищённые патентом Российской Федерации. На базе выполненных обобщений решён ряд новых актуальных задач по разработке алгоритмов оптимизации и методик проектирования печатных многолучевых фазированных антенных решёток (ФАР) с рабочими частотами порядка 2,2 ГГц. Работа вносит вклад в дальнейшее развитие электродинамической теории излучения антенн дипольного вида с учётом конструкторско-технологических особенностей компоновочных схем многодипольных излучающих полотен/ансамблей в печатном исполнении. Полученные теоретические результаты позволяют проектировать многолучевые ФАР с увеличенными на 2 дБ коэффициентами усиления каждого луча ФАР и малыми диссипативными потерями в печатном исполнении на фольгированных листовых диэлектрических материалах с соблюдением норм и требований современных российских технологий. Это позволит существенно расширить область применения многолучевых ФАР и пополнить номенклатуру базовых антенных модулей с линейной поляризацией излучения для радиотехнических устройств и систем телекоммуникаций, радионавигации и радиолокации.

2. Актуальность темы диссертационного исследования

Известно, что излучатели дипольного вида являются базовыми антенными модулями при формировании диаграмм направленности антенных систем с линейной поляризацией в СВЧ радиотехнических и телекоммуникационных устройствах различного назначения, включая изделия с цифровым диаграммообразованием и синтезированной апертурой. При этом важным требованием является комплексная миниатюризация не

только бескорпусных или корпусированных аналого-цифровых и цифро-аналоговых элементов, но и самих базовых излучающих модулей и ансамблей из произвольного их числа, окружённых свободным безграничным пространством. Существенно также и то, что для повышения уровня производственной технологичности и надёжности в процессе эксплуатации целесообразно максимально задействовать преимущества интегрально-групповых методов реализации на основе полосковых микросхем СВЧ.

Многолучевые ФАР, являясь подклассом многоэлементных антенн на базе ансамблей произвольного числа одностипных и одинаково ориентированных в свободном безграничном изотропном пространстве излучателей, занимают своё место в иерархии систем для целей телекоммуникаций. При этом местоположение корреспондентов на местности произвольно по азимуту и продолжительное время не изменяется, например, вахтовые посёлки нефтяников и газодобытчиков, летние геологоразведочные партии, сводные отряды МЧС во время ликвидации природных катаклизмов и т.п. Несмотря на то, что в современных многолучевых антеннах серьёзное внимание уделяется цифровым методам диаграммообразования, полный переход на цифровые ФАР (то есть, со снятием с производства аналоговых решёток) не всегда оправдан из-за высокой стоимости законченных в конструктивном плане и технологически отработанных аналого-цифровых и цифро-аналоговых микроэлектронных компонентов, включая микросборки малошумящих усилителей приёмных каналов. Поэтому в настоящее время продолжают интенсивные исследования и модернизация аналоговых многолучевых ФАР с диаграммообразующими устройствами/матрицами Бласса (J. Blass), Батлера (J.L. Butler) и Нолен (J. Nolen), названных так по фамилиям авторов, предложивших и запатентовавших соответствующие многополюсные СВЧ устройства в англоязычной литературе конца пятидесятых – начала шестидесятых годов XX века.

Использование излучателей дипольного вида, питаемых на их удалённых концах, позволяет освободить площадь печатной заготовки в центральной области излучателя от каких-либо проводников, навесных компонентов и подводящих энергию СВЧ полосковых/микророскопических линий передачи, чем создаются предпосылки для повышения степени линейности поляризации излучения, уменьшения входного коэффициента отражения и уровня диссипативных потерь в печатных проводниках и диэлектрике подложки.

Несмотря на значительный прогресс в проектировании классических многолучевых ФАР с центрально-питаемыми дипольными излучателями, а также наличие большого числа работ по различным модификациям таких диполей, включая метаматериалы (другими словами: искусственные диэлектрики) различной природы, не снижается внимание к совершенствованию и модернизации печатных элементов и узлов, формирующих многоплечие диаграммообразующие устройства Батлера и соединенные с ними антенные полотна на основе излучателей дипольного вида с концевым питанием. При этом в рамках одной диэлектрической подложки/заготовки интегрально-групповыми методами микроэлектроники и печатного монтажа реализуется вся диаграммообразующая структура многолучевой ФАР. Печатные антенны СВЧ (дециметровый, сантиметровый и миллиметровый диапазоны) весьма устойчивы к воздействию внешних дестабилизирующих факторов, включая перепады температур от -60°C (верхние слои атмосферы) до $+60^{\circ}\text{C}$ (тропические широты), линейные ускорения, устойчивость к радиационному облучению и прочее. Интегрально-групповые технологические методы реализации позволяют получить высокий процент выхода годных изделий в ходе их производства, когда десятки идентичных элементов матриц Батлера и излучающих полотен реализуются в одном технологическом цикле обработки листовой диэлектрической заготовки. Поэтому выработка новых подходов к построению печатных многолучевых ФАР на основе опережающего поиска структур, закономерностей и принципов с учетом отечественных конструкторско-технологических ограничений на листовые диэлектрические материалы и процессы формирования топологии проводящего рисунка является актуальной задачей настоящего диссертационного исследования. Её решение создаёт предпосылки для реализации весьма противоречивых требований при проектировании современных антенных систем как коммерческого, так и общегражданского назначения. Наличие дополнительных степеней свободы при проектировании облегчает интеграцию/сопряжение многолучевых ФАР со сложными посадочными местами на объектах установки и способствует повышению эксплуатационной технологичности и надёжности.

3. Личное участие автора в получении результатов

Автором выполнено обобщение классических методов декомпозиции и рекомпозиции многополюсных цепей СВЧ на впервые предложенные сверхширокополосные фазовращатели, а также проведено обобщение классической электродинамической теории излучения на

многовходовые/многолучевые ФАР и их антенные полотна из излучателей дипольного вида с концевым питанием. На основе этих обобщений и защищённых двумя патентами Российской Федерации совокупностей существенных конструктивных признаков автором разработаны алгоритмы нелинейной параметрической оптимизации всех ключевых геометрических размеров предлагаемых в диссертационной работе печатных многолучевых ФАР и проведено всеобъемлющее трёхмерное полноволновое моделирование их электродинамических характеристик в пакете “CST Studio Suite”. Бессрочная лицензия на этот пакет приобретена Новосибирским государственным техническим университетом в 2017 году. Кроме того, автор принимал непосредственное участие в разработке конструкторско-технологической документации по созданию печатных плат всех типов новых многолучевых решёток и их металлических корпусов, описанных в диссертационной работе, а также в настройке и полномасштабных экспериментальных исследованиях в условиях компактного полигона внутри сертифицированной безэховой камеры по месту работы соискателя в Новосибирском АО «Научно-производственное объединение «Научно-исследовательский институт измерительных приборов – Новосибирский завод имени Коминтерна»» (АО «НПО НИИИП – НЗиК»).

Основные результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, получены лично автором. В работах, опубликованных в соавторстве с научным руководителем, автору принадлежат все решения поставленных в тех работах задач. В работах, опубликованных в соавторстве с другими авторами, Паршиным Ю.Н. лично получены результаты, связанные с особенностями проектирования предложенных им печатных сверхширокополосных дифференциальных фазовращателей и излучателей дипольного вида с концевым питанием, включая усовершенствованные печатные симметрирующие устройства. Им также вскрыты особенности компоновки таких излучателей в линейной эквидистантной антенной решётке с линейной поляризацией излучения и охарактеризована перспектива их использования для решения тех или иных задач телекоммуникаций и радиолокации.

4. Степень достоверности результатов исследований

Достоверность полученных результатов обусловлена использованием классической электродинамической теории излучения (запаздывающие векторные электродинамические потенциалы, метод наводимых электродвижущих сил, граничные условия на поверхности раздела двух сред и др.), классических методов анализа (с использованием матриц рассеяния)

многополюсных линейных электрических цепей СВЧ на основе их декомпозиции и рекомпозиции, корректностью исходных положений и математических преобразований при разработке алгоритмов оптимизации и проектирования начального облика излучателей дипольного вида с концевым питанием, а также совпадением результатов электродинамического моделирования с известными частными случаями, опубликованными в предыдущих работах научного руководителя с тремя его учениками, ставшими кандидатами наук, включая сопоставление данных, полученных расчетным и экспериментальным путем, в том числе положительными результатами апробации.

5. Научная новизна исследований

Научная новизна работы заключается в следующем.

1. Классическая электродинамическая теория излучения диполей с прямолинейными цилиндрическими проводниками обобщена на печатные излучатели дипольного вида, интегрированными с симметрирующими устройствами, структура которых предложена, либо модернизирована в работе.
2. Выполнен синтез максимально широкополосных печатных дифференциальных фазовращателей (ДФВ) на полуволновых отрезках электромагнитно связанных линий с кольцевым проводником.
3. В рамках развитого в работе системного подхода созданы модифицированные диаграммообразующие устройства Батлера с использованием синтезированных соискателем максимально широкополосных фазовращателей.
4. Разработаны процедуры формирования полностью печатных (без каких-либо соединительных коаксиальных кабелей) многолучевых ФАР на основе электродинамических моделей печатных излучателей дипольного вида, эскизных обликов ответвителей и максимально широкополосных дифференциальных фазовращателей при условии существования одномодового режима распространения ТЕМ волн.

В процессе презентации аспирант Ю.Н. Паршин подробно остановился на следующих четырех защищаемых положениях.

1. Трёхэтапная модель синтеза, включающая математическое моделирование, расчёт начальных геометрических размеров проводной модели и её параметрическую оптимизацию при электродинамическом моделировании, позволяет разработать конструкции сверхширокополосных дифференциальных фазовращателей на электромагнитно связанных полосковых линиях передачи с предельным разбросом отклонений фазовых

сдвигов 3° от номинальных значений в относительной частотной полосе порядка 70%.

2. В многоэлементном излучателе, содержащем пять параллельно соединённых элементарных излучателей дипольного вида с концевым питанием, геометрическая длина которых прогрессивно уменьшается, происходит изменение входного импеданса всего многоэлементного излучателя за счёт влияния взаимных импедансов между элементами и, как следствие, форма частотной характеристики входного коэффициента отражения становится более равномерной в рабочей полосе частот. При этом интерференция электромагнитных полей пяти элементарных излучателей приводит к возрастанию коэффициента усиления на 2,1 дБ.

3. Интегрирование синтезированных дифференциальных фазовращателей в каналы, предложенных в работе печатных диаграммообразующих устройств (ДОУ) Батлера, позволяет при равнозначных технических характеристиках увеличить полосу рабочих частот 4-канального устройства с 9% до 36%, а 8-канального устройства – до 49%.

4. Применение многоэлементных печатных излучателей дипольного вида создаёт предпосылки для повышения коэффициента усиления лучей до 12 дБ при одновременном обеспечении малых уровней коэффициентов отражения от входов ДОУ в относительной полосе частот 11% при отсутствии каких-либо соединительных коаксиальных кабелей в их конструктивно-компоновочной иерархии, обеспечивая тем самым дополнительные степени свободы при проектировании антенн СВЧ.

В итоге, в работе получены следующие новые результаты.

1. Проведён ретроспективный анализ исследований по данной тематике, начиная с настоящего времени.

2. Синтезирован новый печатный дифференциальный фазовращатель на полуволновых отрезках электромагнитно связанных полосковых линий с предельным разбросом отклонений фазовых сдвигов 3° от номинальных значений в относительной частотной полосе порядка 70%.

3. Получены импедансные характеристики многоэлементного излучателя дипольного вида с концевым питанием (ИДВКП) при помощи метода наводимых ЭДС. Представлены результаты электродинамического моделирования излучателей следующих видов: дипольного излучателя с центральным питанием, уединённого ИДВКП, многоэлементных ИДВКП, в том числе, с пятью элементами.

4. Выработаны подходы к модификации конструкторско-компоновочных схем ДОУ Батлера. Представлены математическое описание и электродинамическое моделирование диаграммообразующих схем Батлера

4x4 и 8x8 с двумя модификациями: для узкополосной работы (статические фазовращатели) в относительной полосе частот порядка 9%; для широкополосной работы (модифицированные дифференциальные фазовращатели) в относительных полосах частот порядка 36% (ДОУ Батлера 4x4) и 48% (ДОУ Батлера 8x8).

5. Представлен сравнительный анализ результатов компьютерного электродинамического моделирования и экспериментальных лабораторных исследований в безэховой камере четырёхлучевых и восьмилучевых ФАР: 4-лучевая ФАР с дипольными излучателями с центральным типом питания и ДОУ Батлера 4x4 со статическими фазовращателями; 4-лучевая ФАР с ИДВКП и ДОУ Батлера 4x4 с модифицированными ДФВ; 4-лучевая ФАР с ИДВКП и ДОУ Батлера 4x4 с модифицированными ДФВ; 4-лучевая ФАР с многоэлементными ИДВКП и ДОУ Батлера 4x4 с модифицированными ДФВ; 8-лучевая ФАР с ИДВКП и ДОУ Батлера 8x8 с модифицированными ДФВ; 8-лучевая ФАР с многоэлементными ИДВКП и ДОУ Батлера 8x8 с модифицированными ДФВ.

6. Практическая значимость исследований

Значение для практики заключается в формировании эффективных методик проектирования новых печатных дифференциальных фазовращателей и многоэлементных излучателей дипольного вида с питающими полосковыми линиями, вынесенными на их периферию. В результате выполненного в работе обобщения классической электродинамической теории излучения и декомпозиции и рекомпозиции, а также выявленных особенностей конструктивно-компоновочных схем, разработано семейство экспериментальных образцов многолучевых ФАР в печатном исполнении на отечественном материале ФАФ-4Д. При концевом питании излучателей таких ФАР центральная область подложек возле смежных клемм излучателя полностью свободна от каких-либо проводников и навесных элементов, причём используются модифицированные соискателем противофазные равноамплитудные делители мощности. Их реализация в отечественной радиопромышленности не встречает технологических затруднений, что способствует смягчению конструктивно-компоновочных ограничений при модернизации и разработке новых антенных систем с линейной поляризацией излучения.

Увеличение коэффициента усиления в лучах фазированной антенной решётки на 2 дБ при хорошем согласовании с питающими коаксиальными кабелями всех входов ФАР достигнута за счет применения разработанных соискателем методик расчета и новых конструктивно-компоновочных схем,

защищённых патентом Российской Федерации, что обеспечивает существенное улучшение физической реализуемости элементов и позволяет при разработке задавать в качестве исходных данных практически любые требуемые значения центральных частот рабочих диапазонов всех лучей, включая требования стандартов мобильной связи и широкополосного доступа.

7. Ценность научных работ соискателя

Основные научные результаты диссертационной работы опубликованы в 9 печатных работах, в том числе по рекомендованному Высшей аттестационной комиссией «Перечню ведущих периодических изданий» опубликованы 6 научных работ, в которых изложены все положения, выносимые на защиту. Имеется также англоязычная публикация 3-го квартиля цитатно-аналитической системы “Web of Science”. Работы выполнены на современном теоретическом уровне с использованием электродинамической теории излучения антенн дипольного вида с концевым питанием при хорошем методическом и экспериментальном сопровождении, что позволяет использовать их для разработки новых поколений печатных излучающих модулей и обоснованного применения компьютерных систем автоматизированного проектирования при их параметрической оптимизации. Полученные в работе результаты внедрены на предприятии г. Новосибирска АО «НПО НИИИП – НЗиК» концерна «ВКО «Алмаз-Антей», что подтверждается Актом о внедрении.

При проработке большинства ключевых вопросов также были задействованы:

1. Требования гранта Новосибирского государственного технического университета № С21-16 «Разработка печатной антенной решетки S-диапазона с нестандартными излучающими элементами для специальных задач радиолокационного сегмента».

2. Требования гранта № 77332 Фонда содействия инновациям по программе «УМНИК» на тему «Разработка цифровых двухдиапазонных антенных решеток для беспилотных летательных аппаратов».

3. Технические индикаторы госбюджетной НИР «Исследование вопросов построения элементов и узлов двухчастотных фазированных антенных решеток», государственный регистрационный номер: АААА-А17-117091370026-3; подготовлено 6 отчётов с государственной регистрацией.

4. Перечень проблем и технические индикаторы Договора о научно-техническом сотрудничестве № 25/304 от 01 ноября 2016 года между АО

«Всероссийский НИИ радиоаппаратуры» («ВНИИРА», г. С.-Пб.) и НГТУ по вопросам проектирования излучателей дипольного вида для телекоммуникационных систем.

Предложенные соискателем методики проектирования и экспериментальные устройства используются в учебном процессе НГТУ при подготовке студентов по направлениям 11.03.01 – «Радиотехника» и 11.03.02 – «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», что подтверждается Актом о внедрении в учебный процесс.

8. Полнота материалов диссертации, изложенных в работах соискателя

По результатам исследований опубликовано 22 научные работы: 6 статей в журналах Перечня ВАК; 1 статья в рецензируемом зарубежном журнале 3-го квартиля базы данных “Web of Science”; 13 докладов в трудах отечественных и международных симпозиумов и конференций; 2 патента на изобретение.

Научные статьи в журналах из перечня ВАК:

1. *Горбачев А.П., Паршин Ю.Н.* Печатная дипольная 8-лучевая антенная решетка с диаграммообразующей матрицей Батлера на связанных полосковых линиях // Вопросы радиоэлектроники. – 2019. – № 4. – С. 65-70.
2. *Горбачев А.П., Паршин Ю.Н.* Проектирование 4-лучевой печатной фазированной антенной решетки с матрицей Батлера // Доклады Академии наук Высшей школы, НГТУ. – 2019. – № 3 (44). – С. 34-47.
3. *Алексейцев С.А., Бухтияров Д.А., Горбачев А.П., Паршин Ю.Н., Тарасенко Н.В.* Печатные двухдиапазонные излучатели дипольного вида с концевым питанием // Вестник Концерна ВКО "Алмаз - Антей". – 2019. – № 4 (31). – С. 35-42.
Имеется перевод, выполненный самой редколлегией в англоязычном выпуске журнала: *Alekseytsev S.A., Bukhtiyarov D.A., Gorbachev A.P., Parshin Yu.N., Tarasenko N.V.* Printed dual-band end-feed dipole radiators // Journal of «Almaz – Antey» Air and Space Defence Corporation. – 2019. – № 4. – С. 35-42.
4. *Горбачев А.П., Паршин Ю.Н.* Печатная четырёхлучевая фазированная антенная решётка с модифицированными дифференциальными фазовращателями // Вопросы радиоэлектроники. – 2020. – № 2. – С. 38-45.
5. *Паршин Ю.Н.* Печатный модифицированный дифференциальный фазовращатель // Вопросы радиоэлектроники. – 2021. – № 2. – С. 28-33.
6. *Алексейцев С.А., Паршин Ю.Н.* Электродинамика проводных двухдиапазонных излучателей дипольного вида с концевым типом

возбуждения // Вестник Концерна ВКО "Алмаз - Антей". – 2021. – № 3. – С. 31-39.

Имеется перевод, выполненный самой редколлегией в англоязычном выпуске журнала: *Alekseytsev S.A., Parshin Yu.N.* Electrodynamics of dual-band end-fed wire dipole radiators // Journal of «Almaz – Antey» Air and Space Defence Corporation. – 2021. – № 3. – С. 31-39.

Научные статьи, опубликованные в изданиях, индексируемых в цитатно-аналитической базе данных «Web of Science»:

1. *Gorbachev A.P., Parshin Y.N.* All-pass phaser on a base of half-wave coupled-line section and its application // Microwave and Optical Technology Letters. – 2021. – Т. 63.– № 10.– С. 2570-2575.

Патенты:

1. Патент RU № 2729513 С1. Полосковый фазовращатель / *Горбачев А.П., Паршин Ю.Н.* – Оpubл. 07.08.2020, Бюл. № 22.

2. Патент RU № 2757538 С1. Диаграммообразующее устройство / *Горбачев А.П., Паршин Ю.Н.* – Оpubл. 18.10.2021, Бюл. № 29.

Апробация проводилась на следующих конференциях: International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM), Erlagol, 2019, 2020, 2021; Всероссийская научно-техническая конференция «Наука. Промышленность. Оборона», Новосибирск, НГТУ, 2018, 2019, 2021; II всероссийская научно-практическая конференция аспирантов и магистрантов «Science Research Practice», Новосибирск, 2018; III научный форум телекоммуникации: теория и технологии ТТТ-2019. XXI Международная научно-техническая конференция: «Проблемы техники и технологий телекоммуникаций», Казань, 2019; XVII Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспективы развития фундаментальных наук», Томск, 21 – 24 апреля 2020; 1st International Conference Problems of Informatics, Electronics, and Radio Engineering, PIERE 2020; IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2021.

Личный вклад соискателя в опубликованных в соавторстве статьях и докладах составляет не менее 60%. Он заключается в том, что им лично был выполнен электродинамический анализ печатных излучателей дипольного вида. Полученные в рамках данного анализа результаты были им обобщены на многолучевые линейные эквидистантные антенные решётки, что позволило сформировать процедуры построения/компоновки антенных полотен полностью планарных ФАР с учётом конструкторско-

технологических норм отечественной радиопромышленности. Автором лично получены математические соотношения для ключевых характеристик максимально широкополосных печатных дифференциальных фазовращателей на электромагнитно связанных линиях с ТЕМ волной. Им были самостоятельно верифицированы полноволновым 3-D моделированием все модифицированные базовые элементы ДООУ/матриц Батлера, также им была разработана конструкторская документация, по которой на сертифицированном заводе печатных плат ООО «Электроконнект» были изготовлены полностью печатные 4- и 8-лучевые ФАР с высокой степенью готовности к установке в инфокоммуникационные средства СВЧ. Все экспериментальные исследования в сертифицированной безэховой камере выполнены также лично автором.

9. Специальность, которой соответствует диссертация

Представленная диссертационная работа выполнена на актуальную тему в области антенной техники, содержит самостоятельные исследования автора и является законченной научно-исследовательской работой, соответствующей специальности 2.2.14 - «Антенны, СВЧ устройства и их технологии». Выдвинутые соискателем в процессе обобщения классической теории излучения антенн и декомпозиции многополюсных устройств СВЧ положения являются вкладом в теорию излучения антенн дипольного вида с концевым питанием, а также в теорию синтеза сверхширокополосных дифференциальных фазовращателей. Предложенные в работе методики проектирования и компоновочные схемы печатных многолучевых антенных решёток с новыми типами излучателей дипольного вида, а также выявленные особенности их конструктивно-технологической реализации, обеспечивают приемлемые на сегодняшний день направленные свойства и коэффициенты усиления в лучах ФАР, а также хорошее согласование с источниками СВЧ сигналов при использовании исключительно отечественных технологий микроэлектроники и полосковых микросхем, не требующих разработки нестандартного технологического оборудования и оснастки.

10. Общее заключение

Диссертационная работа «Печатные многолучевые антенные решётки с модифицированными фазовращателями и излучателями дипольного вида» Паршина Юрия Николаевича 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 кафедры «Радиоприёмные и радиопередающие устройства» Новосибирского государственного технического университета.

Присутствовало на заседании 13 чел., в том числе 4 доктора технических наук и 4 кандидата технических наук. Результаты голосования: «за» - 13 чел., «против» - нет, «воздержалось» - нет, протокол № 3 от 25 марта 2022 года.

Председатель расширенного заседания кафедры
«Радиоприёмные и радиопередающие устройства»,
заведующий кафедрой
«Радиоприёмные и радиопередающие устройства»
доктор технических наук, доцент

М.А. Степанов

Секретарь расширенного заседания кафедры
«Радиоприёмные и радиопередающие устройства»,
доцент кафедры
«Радиоприёмные и радиопередающие устройства»,
кандидат технических наук

И.С. Савиных

Подписи Степанова М.А. и Савиных И.С. заверяю.

Начальник отдела кадров Новосибирского государственного технического университета

Пустовалова Ольга Константиновна

25 марта 2022 года

