

**Акционерное общество
«Российская корпорация ракетно-космического приборостроения
и информационных систем»
(АО «Российские космические системы»)**

Авиамоторная ул., д.53, Москва, 111250

Тел. (495) 673-95-19, факс (495) 509-11-00, e-mail: contact@spacecorp.ru

от 04.12.2019 № РКС ИТС-160

На № _____ от _____

Утверждаю

Заместитель генерального директора по науке

АО «Российские космические системы»

кандидат технических наук

С.А. Федотов



2019 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию **КОНОВАЛЕНКО МАКСИМА ОЛЕГОВИЧА**

по теме «Гибридная система питания антенных решёток для

малогобаритных радиолокационных станций», представленную на соискание

ученой степени кандидата технических наук

по специальности 05.12.07 – Антенны, СВЧ устройства и их технологии.

Диссертация выполнена в ФГБОУ ВО «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (ТУСУР) и АО «Научно-производственная фирма «Микран» (АО «НПФ «Микран»).

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка литературы из 133 наименований и четырех приложений.

Актуальность темы выполненной работы и ее связь с планами отраслевой науки.

Вопросы, рассматриваемые в диссертации, касаются построения антенных решеток (АР), преимущественно бортовых, нашедших широкое

применение, как в авиационной, так и в ракетно-космической отрасли, включая пассивные и активные приёмные и передающие АР. В АР наиболее остро стоят задачи повышения коэффициента усиления при малых габаритах, снижения массы и уменьшения стоимости. Как правило, попытки улучшения перечисленных параметров не приводят к успеху из-за противоречий, наступающих при их реализации в АР.

В диссертации дано решение комплекса задач, обеспечивающих улучшение всех указанных выше параметров АР.

Тема и результаты диссертационной работы являются актуальными, т.к. обеспечивают предложенным АР конкурентоспособность, а в ряде случаев применимость в новых приёмо-передающих устройствах в таких важных отраслях, как авиационная и ракетно-космическая техника.

Научная новизна исследования, полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Научная новизна результатов диссертации подтверждена выполненными теоретическими и экспериментальными исследованиями. Наиболее важными из полученных результатов являются:

1. Переход от линейной микрополосковой излучающей структуры к коллинеарной щелевой излучающей структуре позволяет дополнительно увеличить коэффициент усиления такой системы на 3 дБ.

2. Использование в распределительной системе волноводного направленного ответвителя с инвертированными прямым и побочным каналами позволяет добиться частотной неравномерности амплитудного взвешивания не более 0,3 дБ и нестабильности разности фаз коэффициентов передачи не более $\pm 3,0^\circ$ во всей выделенной полосе, занимаемой радаром (не менее 3%).

3. Гибридная система питания АР СВЧ сигналом позволяет обеспечить полосу пропускания антенной решётки с КПД, не менее 0,7 для

малогабаритных радаров, использующих широкополосные зондирующие сигналы.

Значимость для науки и практической деятельности полученных соискателем результатов.

Проведённые теоретические исследования и расчёты топологии АР по формированию диаграммы направленности АР получили экспериментальное подтверждение и, следовательно, являются значимой базой для создания АР для различных применений.

Подтверждением практической значимости диссертационной работы является внедрение разработанной планарной антенной решётки X-диапазона с гибридной системой питания СВЧ сигналом в составе антенной системы мобильного радара контроля и охраны периметра «Hunter» производства АО «НПФ «Микран», а также использование предложенного типа непрерывной щелевой топологии стоячей волны с множественными точками включения последовательного питания при проектировании и реализации печатной антенной решётки K-диапазона дорожного радара разработки АО «НПФ «Микран».

Структура и содержание работы.

Во *введении* дана общая характеристика диссертационной работы, обосновывается актуальность, определяется тематика и формулируется цель работы, излагаются основные задачи исследования и научные положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена обзору и анализу состояния научных исследований, направленных на создание антенных решеток с минимально возможными потерями, уровнем боковых лепестков и максимальной развязкой приемных и передающих АР. Рассматриваются известные подходы построения способов питания СВЧ сигналом АР, отличия их диапазонных и направленных свойств. В отдельный раздел вынесены зеркальные антенны, так как их энергетический потенциал один из самых высоких при всех остальных схожих параметрах с пассивными решётками. Представлена

научно-техническая разработка АО «НПФ «Микран» сверхширокополосного активного облучателя круговой поляризации в трёх исполнениях для соответствующих частотных диапазонов шириной, не менее октавы. Сформулирована решаемая проблема и общая задача диссертации: объединения преимуществ волноводных и печатных антенн в гибридную схему, позволяющую добиться одновременного выполнения диапазонных, направленных свойств и снижения массы и габаритов при технической реализации АР для малогабаритных РЛС с сигналами полосой, не менее 3 % в X-диапазоне частот.

Во второй главе рассматривается двухмерная решётка для антенн, названных коллинеарными, вводится понятие гибридной системы питания СВЧ сигналом с соответствующими характерными признаками АР для обеспечения лучших диапазонных и направленных свойств, а также с уменьшенными массой и габаритами при высокой повторяемости электрических параметров без дополнительной настройки.

Основной результат второй главы сформулирован в виде первого научного положения: «Использование коллинеарных щелевых излучающих структур позволяет упростить систему питания, уменьшить диссипативные потери, а также на величину до 3 дБ увеличить коэффициент усиления двухмерных АР в сравнении с микрополосковыми структурами». Доказательство данного положения основывается на изучении влияния геометрических параметров на электрические характеристики линейной АР, подробном исследовании излучающей структуры, двумерной АР в части требований к амплитудно-фазовому распределению, вида топологии печатной платы.

В третьей главе представлены результаты исследования неравновесного волноводного делителя и элементов, соединяющих его с печатной частью АР. Предложена структурная схема волноводного деления, 3D моделей волноводных неравновесных ступеней, рассчитаны частотные характеристики в виде S-параметров. Проведены достаточно сложные

экспериментальные исследования делителя, для чего предложена методика исследования всех существенно значимых параметров: коэффициентов передачи и развязок.

Экспериментально достигнутые параметры образца волноводного неравновесного 8-канального делителя совпадают с расчётными значениями с погрешностью, не превышающей $\pm 0,3$ дБ, что полностью удовлетворяет уровню точности, необходимой для достижения заданного уровня первого бокового лепестка диаграммы направленности АР. Частотная зависимость разности фаз каналов синфазной части и каналов противофазной части волноводного делителя имеет максимальное отклонение не более ± 3 град., что формирует синфазное возбуждение точек питания каждой двухмерной подрешётки.

Глава завершается приведением особенности технической реализации делителей рассматриваемого типа при использовании современных технологий. Сформулировано второе научное положение: «Использование в питающей линии антенной решётки чётного числа точек возбуждения с заданными амплитудами, разнесенных на расстояния кратные электрической длине волны, позволяет управлять амплитудным распределением с отклонением от заданного, не более 1,0 дБ».

Четвёртая глава содержит результаты измерений электрических параметров антенного устройства с предложенной АР в его составе. Проведены лабораторные измерения параметров АР в ближней зоне и полигонные испытания в дальней зоне. Полученные параметры доказывают третье защищаемое научное положение: «Применение гибридной системы питания, объединяющей преимущества волноводных устройств, печатных технологий и последовательно-параллельных схем возбуждения, обеспечивает коэффициент полезного действия АР, не менее 0,7 и улучшает диапазонные свойства относительно стандартных решений при апертурах до 20 длин волн».

Степень достоверности и обоснованности научных положений и выводов. Публикация и апробация результатов работы.

Достоверность и обоснованность научных положений и выводов по каждому из них проверена не только во время лабораторных исследований, но в условиях полигона в составе действующего дорожного радара. Результаты работы внедрены в серийно выпускаемое изделие.

Основные результаты диссертационной работы достаточно полно отражены в 13 публикациях, из них 5 статей, в журналах из перечня ВАК; 4 доклада в трудах международных и всероссийских конференций, из которых 1 индексируется Web of Science Core Collection, 2 – в Scopus; 2 отчёта о НИР; 2 патента РФ на полезную модель. Материалы диссертации докладывались на 7 международных и всероссийских конференциях.

Оценка языка и стиля написания работы.

Материал диссертации хорошо структурирован, изложен литературным языком с соблюдением правил технического текста. Можно отметить лишь в весьма редких местах введение терминов, нуждающихся в пояснении или расшифровке, типа «питание АР» (питание СВЧ сигналом или электропитанием), «магнитный» ток, «неравновесный» делитель мощности.

Нецелесообразно в диссертации вводить разделы или подразделы, начинающиеся словом «разработка», поскольку диссертация является научной, а не опытно-конструкторской работой.

Рекомендации по использованию результатов диссертационной работы.

Результаты диссертации представляют интерес для специалистов-разработчиков антенн и антенных решеток различного назначения, в том числе для радиолокационной аппаратуры, систем связи, систем и устройств для метеорологии, геолокации, контроля параметров материалов, сред и технологических процессов. Целесообразно продолжить работы по созданию антенных решеток для систем дистанционного зондирования Земли в разных

диапазонах частот. Подобные АР перспективны для применения при переходе к системам связи 5G. Результаты диссертационной работы могут использоваться: АО «Российские космические системы», АО «НПФ «Микран», АО «НПП «Радиосвязь» (г. Красноярск) и другими приборостроительными и радиотехническими предприятиями РФ.

Замечания по диссертации

1. Цифры, приведенные в научных положениях, скорее характерны для частных случаев, т.е. для конкретного устройства, являющегося базовым для демонстрации тех или иных достоинств АР в одном из диапазонов частот и в одной конфигурации. Рассмотрение этих значений параметров АР на другие антенные решетки, например, работающие не в Х-, а в S- или К-диапазонах частот, требуют дополнительного подтверждения.

2. В тексте диссертации не всегда демонстрируются значимость получения результата, например, КПД АР, равный 0,7 в третьем научном положении, выносимом на защиту. Требуется в таких случаях сравнение с лучшими известными аналогами.

Указанные замечания не изменяют положительной оценки диссертационной работы, проведенной тщательно, на высоком техническом уровне.

Некорректных ссылок и недобросовестных заимствований материалов или отдельных результатов других авторов в диссертации не обнаружено. Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертации.

Вывод

Диссертация Коноваленко М.О. представляет собой законченную научно-квалификационную работу, содержащую решение актуальной **научной задачи** – существенного снижения диссипативных потерь в печатных антенных решётках для повышения эффективности излучения, что важно при построении пассивных антенных систем для радиолокаторов,

способных обнаружить движущиеся цели, а также для передающих радиосистем с невысоким значением мощности зондирующих сигналов.

Диссертация «Гибридная система питания антенных решёток для малогабаритных радиолокационных станций», соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а ее автор, Коноваленко Максим Олегович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.12.07 – Антенны, СВЧ устройства и их технологии.

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании отделения по созданию командных радиолиний (протокол заседания секции №10 научно-технического совета от «29» ноября 2019 г. № 6/10-2019).

Начальник отделения 17



А.С. Сёмочкин

Заместитель начальника отделения 17
доктор технических наук, с.н.с.



В.Г. Алыбин