

На правах рукописи



Фам Ван Винь

**ДВУХДИАПАЗОННАЯ АНТЕННА СИСТЕМЫ СПУТНИКОВОГО
ТЕЛЕВИДЕНИЯ**

Специальность: 05.12.07 – Антенны, СВЧ-устройства и их технологии

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Казань 2019

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» МАИ на кафедре радиофизики, антенн и микроволновой техники.

Научный руководитель: **Овчинникова Елена Викторовна**
доктор технических наук, доцент ФГБОУ ВО
«Московский авиационный институт (национальный
исследовательский университет)» МАИ

Официальные оппоненты: **Кирпанев Алексей Владимирович**
доктор технических наук, доцент, начальник отдела
антенн W-диапазона Акционерного общества
«Научно-производственного предприятия «Радар
ММС»

Русов Юрий Сергеевич
кандидат технических наук, доцент ФГБОУ ВО
«Московский государственный технический
университет имени Н.Э. Баумана (национальный
исследовательский университет)» (МГТУ им. Н.Э.
Баумана)

Ведущая организация: Акционерное общество «Научно-производственная корпорация «Космические системы мониторинга, информационно-управляющие и электромеханические комплексы» имени А.Г. Иосифьяна» (АО «Корпорация «ВНИИЭМ»).

Защита состоится «24» мая 2019 г. в 15 часов на заседании диссертационного совета Д 212.079.09, созданного на базе ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева - КАИ» по адресу: 420111, г. Казань, ул. К. Маркса, д.31/7, ауд.301).

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке Казанского государственного технического университета имени А. Н. Туполева – КАИ и на официальном сайте КНИТУ-КАИ:

http://old.kai.ru/science/disser/files/file_264/text_diss.pdf .

Отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, заверенных печатью организации, просим направлять по адресу: 420111, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 10, Ученому секретарю диссертационного совета Д 212.079.09 Денисову Е.С.

Автореферат разослан « 20 » марта 2019 года.

Ученый секретарь диссертационного совета,

кандидат технических наук



Денисов Евгений Сергеевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации

На современном этапе развития систем спутникового телевидения возникает необходимость совершенствования конструкций и улучшения технических характеристик передающих и приемных телевизионных антенн [1]. Непрерывное увеличение информационной емкости телевизионных каналов также способствует модернизации антенн, применяемых в системах спутникового телевидения. Одним из важнейших требований, предъявляемых к антеннам, является их компактность, а также малые массогабаритные характеристики. Широко применяемые на практике параболические зеркальные антенны с механическим или электромеханическим сканированием требуют использования громоздких поворотных устройств, имеют значительные продольные габариты, а также они чувствительны к осадкам и воздействию окружающей среды [2]. Поэтому перспективным направлением является разработка антенных решеток (АР) спутникового телевидения особенно для мобильных систем [1].

Первые АР для приема программ со спутника появились в 70-х годах после запуска спутников «Москва», «Экран», «Радуга» и «Молния» [3]. Они имели лучшие массогабаритные характеристики по сравнению с зеркальными антеннами (ЗА), и обладали более высокой устойчивостью к изменениям параметров окружающей среды. Однако повышение требований к качеству принимаемых сигналов требует расширения частотного диапазона антенной системы. Непрерывно меняются и требования к компактности, а также к массогабаритным параметрам. Конструкции современных антенных систем спутникового телевидения должны быть легкими и удобными для крепления на зданиях и внутри помещений [1,2]. Большое значение в последнее время приобрели стоимостные требования, поэтому конструкция антенно-фидерного устройства должна быть технологичной и реализуемой в производстве с минимальными затратами.

Кроме стационарных систем непосредственного телевизионного вещания, антенные решетки широко применяются на мобильных объектах. При этом антенны, устанавливаемые на

подвижном объекте, должны обеспечивать устойчивый прием сигнала при изменении ракурса объекта. Основным требованием, предъявляемым к таким системам, является обеспечение высокого энергетического потенциала. Поэтому большая часть рассматриваемых антенных решеток, устанавливаемых на автомобилях, самолетах и поездах, представляет собой активные фазированные антенные решетки (АФАР). Существенного расширения сектора сканирования можно добиться путем применения выпуклых антенных решеток. Бортовые антенные системы спутникового телевидения должны обладать высокой надежностью конструкции, вибропрочностью и устойчивостью к изменениям параметров окружающей среды. Эти требования, в основном, определяются технологией изготовления антенны, структурой антенного полотна [2] и распределительной системы, а также типом элемента.

Широкополосные и двухдиапазонные антенны востребованы и в стационарных системах спутникового телевидения и связи, применяемых на ретрансляторах. В настоящее время радиорелейные системы связи с функцией ретрансляции [4] насчитывают десятки антенн, при размещении которых возникают проблемы, связанные с электромагнитной совместимостью.

Расширение функциональных возможностей современных систем спутникового телевидения требует постоянного совершенствования конструкций антенн и дальнейшего развития методов их анализа.

С учетом выше изложенного можно сформулировать основные цели и задачи диссертационной работы.

Объект и предмет исследования

К объектам диссертационных исследований относятся двухдиапазонные антенные решетки систем спутникового телевидения с поляризационной и частотной развязкой передающего и приемного каналов. Предметами исследований являются электродинамические модели совмещенных антенных решеток с поляризационной развязкой каналов.

Цель и задачи работы

Целью диссертационной работы является разработка двухдиапазонных совмещенных антенных систем спутникового телевидения с поляризационной развязкой каналов по заданным характеристикам. Для достижения указанной цели в рамках общей проблемы разработки и создания двухдиапазонных антенных систем спутникового телевидения в диссертационной работе решаются следующие задачи:

- Исследование направленных свойств и частотных характеристик двухдиапазонных антенных решеток спутникового телевидения при совместной независимой работе в двух поддиапазонах Ku-диапазона, выделенных для приемного и передающего канала.
- Разработка приближенных методик расчета диаграмм направленности излучателей двухдиапазонных антенных систем.
- Исследование влияния амплитудных и фазовых ошибок на характеристики направленности двухдиапазонных антенных решеток спутникового телевидения, позволяющее определить допуски на изготовление элементов антенного полотна и распределительной системы.

Методы исследования

Численные электродинамические методы, реализованные в прикладных программных продуктах, численные методы математического анализа, теория специальных функций, методы статистической теории антенн.

Научная новизна диссертационной работы состоит в следующем:

- Разработаны двухдиапазонные совмещенные антенные решетки с поляризационным и частотным разделением каналов, работающие в Ku-диапазоне и обеспечивающие

требуемую направленность и заданную развязку между каналами.

- Разработаны модели двухдиапазонных антенных решеток для систем спутникового телевидения, позволяющие провести численный эксперимент и существенно сокращающие временные затраты на проведение натурных экспериментов.
- Разработаны алгоритмы расчета характеристик направленности с учетом влияния технологических погрешностей изготовления системы, позволяющие определить допуски на изготовление, как отдельных элементов, так и антенной системы в целом.

Практическая значимость результатов работы

Разработанные в диссертации модели расчета и статистического анализа характеристик направленности антенных решеток реализованы в виде прикладных программ и направлены на решение широкого круга задач, в частности, для получения исходных данных при создании макетов антенного полотна и распределительной системы двухдиапазонной антенной решетки.

Основные положения, выносимые на защиту

- Различные варианты конструкций совмещенных двухдиапазонных антенных решеток, работающих в двух поддиапазонах Ku–диапазона с ортогональной поляризацией и обеспечивающих повышение развязки до -40 дБ, понижение массогабаритных характеристик в 1,5 раза и уменьшение стоимости за счет применения современных технологий изготовления.
- Модели антенных систем спутникового телевидения, разработанные с использованием специализированных программных средств и позволяющие определить характеристики антенной системы с учетом взаимного влияния элементов, позволяющие не проводить макетирование и эксперимент.

- Методика расчета антенных систем из рупоров с эллиптической формой раскрыва, отсутствующая в современной теории рупорных антенн.
- Методика расчета характеристик направленности антенных решеток с амплитудными и фазовыми ошибками, позволяющая определить допуски на изготовление элементов антенной системы.

Достоверность полученных результатов подтверждается:

- Применением прошедших апробацию методов общей и статистической теории антенн;
- Использованием апробированных специализированных компьютерных программ, позволяющих проводить анализ структуры антенного полотна и распределительной системы численными электродинамическими методами;
- Проверкой полученных результатов путем сравнения их с расчетными и экспериментальными результатами, известными из литературы;

Реализация и внедрение результатов работы

Электродинамические модели и результаты анализа характеристик антенных систем использованы при выполнении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию антенных решеток телекоммуникационных систем в ОАО «НПО Лианозовский электромеханический завод» (НПО «ЛЭМЗ»).

Апробация результатов работы

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на Московской молодёжной научно-практической конференции «Инновации в авиации и космонавтике - 2015», Международной конференции «Авиация и космонавтика», Москва, 14-18 ноября 2016, Международной конференции «СВЧ – техника и телекоммуникационные технологии», (Севастополь, 2016 г., 2017 г., 2018 г.), 15-й Международной конференции «Авиация и космонавтика»,

Всероссийской научной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн», г. Муром, 27-29 июня 2017г, научно-технической конференции «Иосифьяновские чтения» 2017, г. Истра, 26 октября 2017г., Международной молодежной научной конференции «Гагаринские чтения», 17-20 апреля 2018, г.Москва, МАИ, VI Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли», 24 мая 2018, г. Москва.

Публикации

Основные научные результаты диссертации опубликованы в 20 работах, из них 6 статей в российских журналах, рекомендованных ВАК, 12 докладов в трудах Международных и Всероссийских конференций, а также получен 1 патент.

Личный вклад автора состоит в разработке электродинамических моделей антенных решеток для систем спутникового телевидения, проведении математического моделирования и оптимизация характеристик направленности двухдиапазонных антенных решеток, выводах основных теоретических соотношений для рупорных излучателей с эллиптической формой излучающего раскрыва.

Объем и структура диссертационной работы

Диссертационная работа состоит из введения, 4-х глав, заключения, списка литературы. Работа содержит 114 страниц машинописного текста. Список литературы включает 111 наименований списка литературы, российских и зарубежных источников на 11 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении к диссертации обоснована актуальность темы работы, сформулированы цели, задачи и методы исследований, изложены научная новизна и практическая значимость. Приводятся

основные научные положения, выносимые на защиту и дается краткое содержание каждой из глав диссертационной работы.

В первой главе «Антенны систем спутникового телевидения» рассматриваются различные варианты конструкций антенных систем, применяемых для приема программ спутникового телевидения. Отмечаются преимущества таких антенных систем в сравнении с широко используемыми на практике, параболическими зеркальными антеннами. Приводятся модель и конструкция антенной решетки, изготовленной по технологии гальванопластики и предназначенной для приема сигналов спутникового телевидения. Рассматриваются особенности построения антенных систем спутникового телевидения, устанавливаемых на мобильных объектах. Показана необходимость совмещения передающего и приемного каналов в мобильных системах спутникового телевидения. Определены основные проблемы, возникающие при создании антенных систем спутникового телевидения. Обсуждаются пути построения антенных систем, позволяющие преодолеть отмеченные выше проблемы.

Во второй главе «Результаты численных исследований излучателей двухдиапазонной антенной решетки системы спутникового телевидения» излагаются особенности работы и требуемые характеристики антенных систем.

Начиная с 90-х годов небольшие спутниковые антенны для приема в Ку-диапазоне стали выпускаться в России и за рубежом. Все решетки выпускались в печатном исполнении, так как печатная технология на тот момент была достаточно хорошо освоена и позволяла реализовывать компактные, недорогие антенны, хорошо совместимые с цифровыми устройствами управления и обработки информации.

В диссертационной работе также рассматриваются различные типы излучателей, обеспечивающих широкополосную двухдиапазонную работу. Предложены и разработаны широкополосные излучатели в микрополосковом исполнении, а также три типа рупорных антенн с различной формой излучающего раскрытия, изготавливаемые по технологии гальванопластики.

На рис.1 приведены модели антенных систем из рупорных излучателей с ромбической и эллиптической и крестообразной формой излучающего раскрыва.

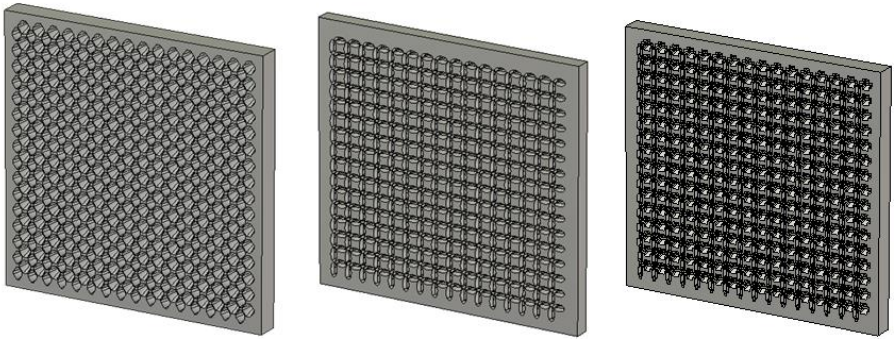


Рис.1. Модели антенных решеток из рупорных излучателей с ромбической, эллиптической и крестообразной формой излучающего раскрыва

На рис.2-5 приведены зависимости КСВ от частоты для рупорных антенн с эллиптическим и крестообразным раскрывом. В составе решетки они имеют лучшие характеристики согласования, чем ромбические рупоры. Поэтому далее рассматриваются только излучатели с эллиптическим и крестообразным раскрывом.

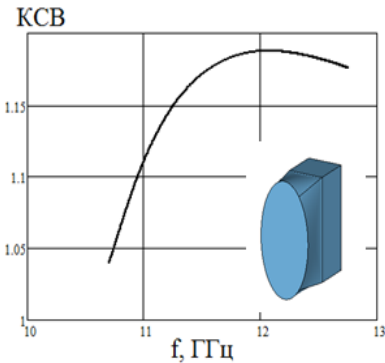


Рис.2. Зависимость коэффициента стоячей волны от частоты излучателя, работающего на приём

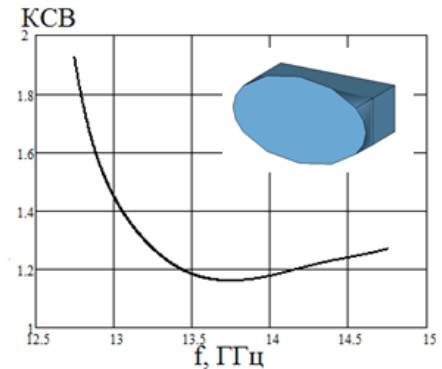


Рис.3. Зависимость коэффициента стоячей волны от частоты излучателя, работающего на передачу

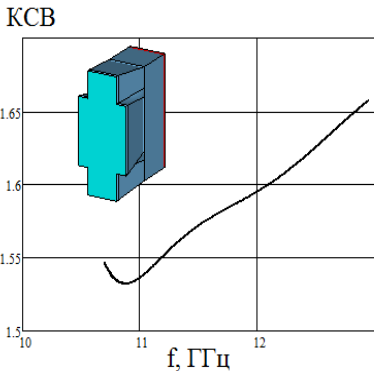


Рис.4. Зависимость коэффициента стоячей волны от частоты излучателя, работающего на приём

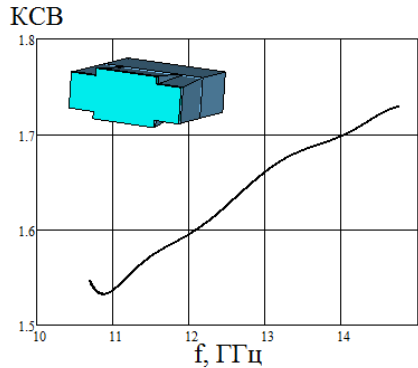


Рис.5. Зависимость коэффициента стоячей волны от частоты излучателя, работающего на передачу

В плавном переходе от прямоугольного волновода к раскрытию эллиптической формы происходит изменение структуры поля, что приводит к появлению кросс-поляризационных составляющих в раскрытии. Наличие кросс-поляризационных составляющих уменьшает развязку между передающим и приемным каналами. Это уменьшение незначительное, поскольку кроссполяризационные составляющие появляются только на краях раскрытия рупора. Хотя структура поля в эллиптическом волноводе хорошо известна, характеристики направленности такого волновода в литературе отсутствуют. Для волноводов с малым эксцентриситетом, близким к круговым волноводам можно не вводить эллиптических функций и получить структуру поля в более простом виде через цилиндрические функции. В работе показаны аппроксимации рассматриваемых эллиптических раскрытий передающего и приемного каналов эллипсами с малым эксцентриситетом. Из рисунков видно, что формы раскрытий рупоров, работающих на передачу и прием, не аппроксимируются слабоэллиптическими кривыми, позволяющими проводить расчет поля излучения с помощью цилиндрических функций. Для расчета компонент поля в диссертационной работе использованы асимптотические выражения для функций Матье для аргумента, заключенного в интервале от -90 до 90 градусов, что соответствует

поставленной задаче. Результаты расчета ДН с помощью асимптотических функций приведены на рис.6 и 7.

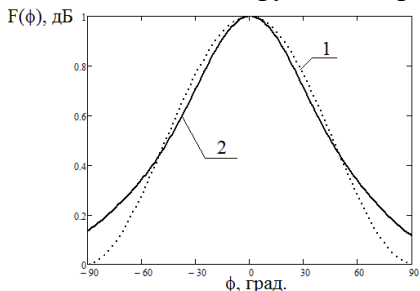


Рис.6. ДН излучателя в плоскости Н, рассчитанные аналитически (1) и численно (2) на частоте $f=10,7\text{ГГц}$

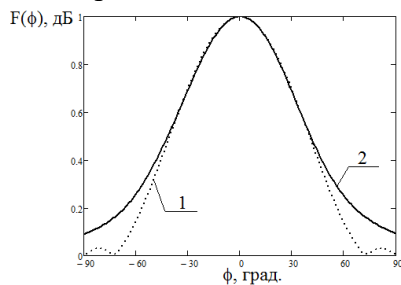


Рис.7. ДН излучателя в плоскости Н, рассчитанные аналитически (1) и численно (2) на частоте $f=12,7\text{ГГц}$

Зная поле в раскрыве рупора, поле излучения в дальней зоне можно определить с помощью формулы Кирхгофа.

Таким образом, во второй главе разработаны модели широкополосных и двухдиапазонных микрополосковых излучателей, а также рупорных излучателей с эллиптической формой излучающего раскрыва.

Проведена параметрическая оптимизация излучателей. Определены оптимальные размеры элементов антенной решетки по критерию наилучшего согласования. Рассчитаны варианты элементов, заполненных диэлектриком. Такое заполнение позволяет не только уменьшить размеры элементов, но и учесть влияние защитного покрытия излучателей. Проведена параметрическая оптимизация излучателя в виде рупора с эллиптической формы.

Получены частотные характеристики и характеристики направленности излучателей в двух частотных диапазонах работы антенной системы спутникового телевидения.

Разработана методика приближенного расчета характеристик направленности излучателей с эллиптической формой излучающего раскрыва, позволяющая определить характеристики направленности многоэлементных антенных систем.

В третьей главе «Электродинамическое моделирование антенных систем спутникового телевидения» приводятся модели антенных систем, состоящих из эллиптических и крестообразных излучателей.

В процессе работы был рассмотрен вариант построения антенной системы в печатном исполнении. На рис.8 показана модель совмещенной антенны спутникового телевидения, работающей в двух диапазонах с развязкой по поляризации. На рис.9 показаны зависимости коэффициента усиления от частоты антенной решетки и прямофокусной зеркальной антенны при разной эффективности. В диссертационной работе также проведено сравнение характеристик направленности двухдиапазонной микрополосковой антенны с известными теоретическими и экспериментальными характеристиками отражательных антенных решеток.

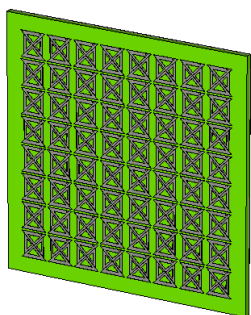


Рис.8. Модель совмещенной антенны спутникового телевидения

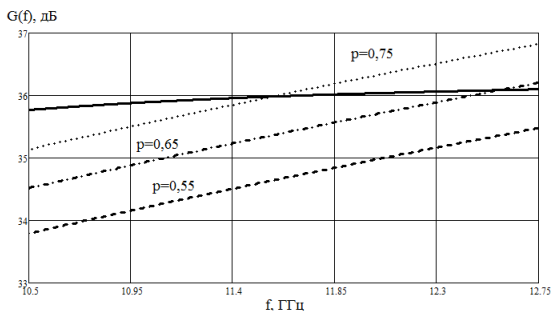


Рис.9. Зависимости коэффициента усиления от частоты антенной решетки и зеркальной антенны при разной эффективности p

Различие коэффициентов усиления обусловлено различием АФР. Превышение коэффициента усиления зеркальной антенны над коэффициентом усиления антенной решетки наблюдается только при значении эффективности 0,75, что на практике сложно достичь особенно в малых зеркалах, применяемых для приема сигналов спутникового телевидения. Эти графики иллюстрируют правильность выбранного решения о применении антенной

решетки. Производство решеток до недавнего времени было дорогим, но применение современных технологий изготовления позволило реализовать недорогие антенные системы с высокой механической и электрической прочностью. Решетки малозаметны и соответствующая маскировка с помощью обтекателя позволяет сохранять вид зданий и сооружений. Вторым немаловажным фактором являются потери, учитываемые в процессе расчета. Как известно, потери с ростом частоты увеличиваются, что и показывает падение КУ с увеличением частоты по сравнению с зеркалом.

Таким образом, в третьей главе разработаны модели АР на основе трех типов излучателей, предложенных во второй главе. Проведен сравнительный анализ и расчет характеристик направленности таких антенн и широко применяемых на практике, зеркальных и отражательных антенн.

Показано, что предлагаемые конструкции антенн позволяют существенно уменьшить продольный размер, при достижении требуемых характеристик направленности.

Разработаны модели распределительных систем. Проведена параметрическая оптимизация элементов антенно-фидерного тракта с целью получения требуемых характеристик согласования. Для рупорных антенн с эллиптическими и крестообразными излучателями определена развязка между передающим и приемным каналами.

В четвертой главе «Определение характеристик направленности антенной решетки спутникового телевидения с учетом амплитудных и фазовых ошибок» выполнено исследование влияния технологических погрешностей на характеристики направленности антенной системы. Амплитудные и фазовые ошибки задавались в виде случайных независимых величин, имеющих различные распределения плотностей вероятности и характеризующиеся различными величинами средних значений и дисперсий. В соответствии с [2*], фазовая ошибка имеет равномерное распределение плотности вероятности в интервале $[-\pi, \pi]$, а амплитудная – имеет гауссово распределение. Диаграмму направленности плоской антенной решетки с

прямоугольной сеткой размещения элементов при наличии амплитудных и фазовых ошибок можно представить в виде:

$$F(\theta, \phi) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N f(\theta, \phi) I_{mn} [1 + r_{mn} e^{j\alpha_{mn}}] e^{jk(x_{mn} \cos(\phi) \sin(\theta) + y_{mn} \sin(\phi) \sin(\theta))} \quad (1)$$

где $f(\theta, \phi)$ – диаграмма направленности элемента, I_{mn} – амплитуда возбуждения элемента, r_{mn} – амплитудная ошибка, α_{mn} – фазовая ошибка.

Фазовая ошибка имеет равномерное распределение вида:

$$P(\alpha) = \begin{cases} \frac{1}{2\pi}, & -\pi \leq \alpha \leq \pi, \\ 0, & \alpha > \pi. \end{cases} \quad (2)$$

Если рассматривается антенная решетка большой размерности, под которой подразумевается число элементов, то амплитудная ошибка имеет гауссово распределение:

$$P(r) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{\sigma_r} e^{-\frac{r^2}{\sigma_r^2}} \quad (3)$$

где σ_r – дисперсия величины r

При рассмотрении случайных ошибок, возникающих в результате технологических погрешностей изготовления, можно считать, что их статистические характеристики известны. Поскольку между приемным и передающим каналом обеспечена высокая развязка, то величины амплитудных и фазовых ошибок в различных каналах можно считать статистически независимыми. Тогда расчет характеристик направленности передающего и приемного каналов можно выполнить, используя методы статистической теории антенн, позволяющей оценить влияние амплитудных и фазовых ошибок на характеристики антенных решеток. Исходя из требований, предъявляемых к характеристикам антенной решетки, могут быть определены максимально допустимые уровни погрешностей амплитуд и фаз токов. В диссертационной работе приводятся графики для распределения амплитудных и фазовых ошибок по излучателям решетки. Диаграммы рассчитаны для амплитудных ошибок с гауссовским распределением, нулевым средним значением и величиной среднеквадратического отклонения (СКО), равной 15% от

максимального значения и фазовых ошибок с равномерным распределением, нулевым средним значением и величиной СКО, равной 10° . Диаграммы направленности с учетом амплитудных и фазовых ошибок для решетки из рупоров с эллиптическим раскрывом в режиме приема, показаны на рис.10 - 11.

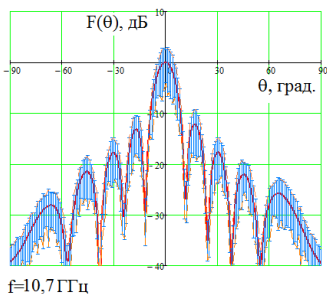


Рис.10. Диаграмма направленности с учетом амплитудных и фазовых ошибок для решетки из рупоров с эллиптическим раскрывом, в плоскости Е на частоте 10,7 ГГц

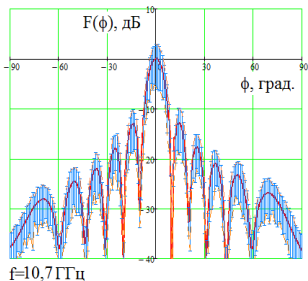


Рис.11. Диаграмма направленности с учетом амплитудных и фазовых ошибок для решетки из рупоров с эллиптическим раскрывом, в плоскости Н на частоте 10,7 ГГц

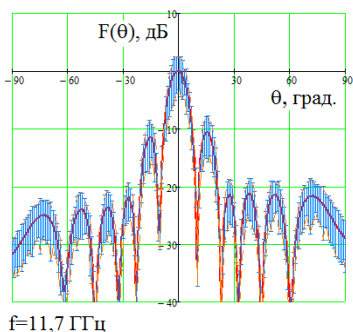


Рис.12. Диаграмма направленности с учетом амплитудных и фазовых ошибок для решетки из рупоров с эллиптическим раскрывом, в плоскости Е на частоте 11,7 ГГц

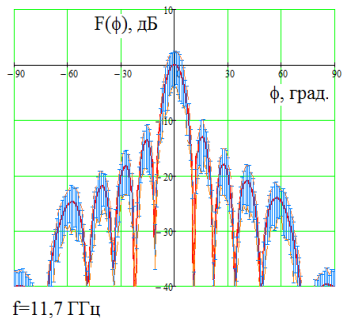
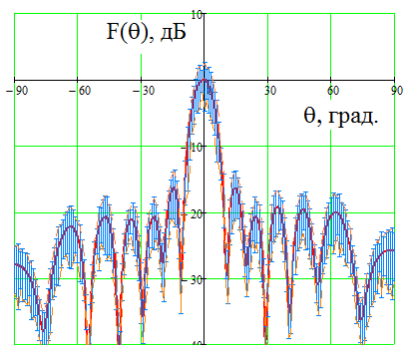
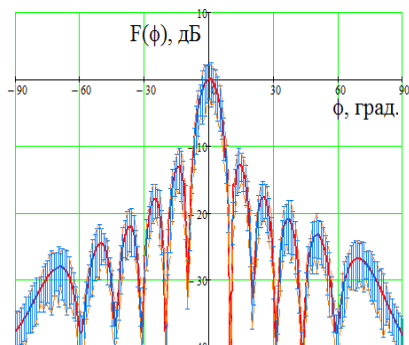


Рис.13. Диаграмма направленности с учетом амплитудных и фазовых ошибок для решетки из рупоров с эллиптическим раскрывом, в плоскости Н на частоте 11,7 ГГц



$f=12,7$ ГГц

Рис.14. Диаграмма направленности с учетом амплитудных и фазовых ошибок для решетки из рупоров с эллиптическим раскрывом, в плоскости Е на частоте 12,7 ГГц



$f=12,7$ ГГц

Рис.15. Диаграмма направленности с учетом амплитудных и фазовых ошибок для решетки из рупоров с эллиптическим раскрывом, в плоскости Н на частоте 12,7 ГГц

Таким образом, в четвертой главе найдены соотношения, позволяющие рассчитывать диаграммы направленности двухдиапазонной антенной решетки, учитывающие амплитудные и фазовые ошибки, возникающие при технологических погрешностях изготовления антенно-фидерной системы. Полученные диаграммы направленности необходимы для определения статистических характеристик антенной решетки при наличии случайных ошибок.

Проведён анализ уровня боковых лепестков и ширины луча диаграммы направленности от значений СКО амплитуд и фаз возбуждающих полей, распределенных по нормальному и равномерному закону.

Показано что, исходя из требований, предъявляемых к уровню боковых лепестков и энергетическому потенциалу, могут быть определены максимально допустимые значения погрешностей амплитуд и фаз возбуждения элементов антенной решетки.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы.

1. Проведён обзор и анализ существующих антенн, применяемых в системах непосредственного телевизионного вещания. В результате показаны целесообразность разработки антенных систем как для ретрансляции, так и для систем специального телевидения, которые позволили бы уменьшить массогабаритные характеристики в 1,5 – 2 раза.
2. Путем параметрического синтеза с помощью численных методов электродинамики были проведены исследования характеристик направленности широкополосных микрополосковых излучателей и рупорных излучателей с различной формой излучающего раскрыва, позволяющих разместить излучатели двух диапазонов в одной апертуре с допустимой развязкой между приемным и передающим каналами более 40 дБ.
3. Исследованы характеристики направленности антенных систем спутникового телевидения из микрополосковых и рупорных излучателей. Определены зависимости характеристик направленности от частоты, иллюстрирующие возможность работы излучателей в двух рабочих поддиапазонах Ку-диапазона 10,70-12,75 и 13,25-14,75. Исследования показали, что энергетические характеристики квадратных антенных решеток со стороной 600 мм получаются такого же порядка 35 дБ, что и у зеркальных антенн с диаметром 600 мм при КИП=0,6.
4. Разработаны методики расчета излучающих элементов и многоэлементных антенных систем, состоящих из рупорных излучателей с эллиптической формой излучающего раскрыва.
5. Разработаны компьютерные модели многоэлементных антенных систем из микрополосковых и рупорных излучателей, позволяющие определить характеристики направленности с учетом погрешностей изготовления элементов антенного полотна и возбуждающего устройства, приводящих к возникновению амплитудных ошибок с СКО, равной 15% и фазовых ошибок с величиной СКО, равной 10°, статистика которых взята с производства.

6. Результаты диссертационной работы опубликованы в 7 статьях, доложены на 12 конференциях, а также получен 1 патент.

ЦИТИРУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

- 1*. Фам Ван Винь, Гиголо А.И., Шмачилин П.А., Кондратьева С.Г., Овчинникова Е.В. Двухдиапазонная антенная решетка бортовой системы спутниковой связи. Труды 15-й Международной конференции «Авиация и космонавтика», Москва, 14-18 ноября 2016, С.374-375. <http://files.mai.ru/site/conf/aik/2016/abstracts.pdf>.
- 2*. Фам Ван Винь. Антенные решётки систем спутникового телевидения. Труды Международной молодёжной научной конференции «Гагаринские чтения» – 2016. Москва, 12-15 апреля 2016 г, С.500-501. https://gagarin.mai.ru/files/2016/Vol_1.pdf.
- 3*. Бушминский И. П., Тютхин М. Ф. Приемные системы спутникового телевидения. - М.: Радио и связь, 1993, - 216 с.
- 4*. Средства спутниковой связи. <http://knowledge.allbest.ru>

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в научных журналах из перечня ВАК РФ:

1. Воскресенский Д.И., Овчинникова Е.В., Буй КаоНинь, Фам Ван Винь. Методика приближенного расчета характеристик направленности широкополосной микрополосковой антенны сотовой связи. // Журнал «Антенны», №6, 2015 г., С.7-17
2. Воскресенский Д.И., Овчинникова Е.В., Буй СуанКхоа, Буй КаоНинь, Фам Ван Винь. Трёхдиапазонные микрополосковые антенны сотовой связи. // Журнал «Антенны», №7, 2015 г. С.37-45.
3. Овчинникова Е.В., Васильев О.А., Фам Ван Винь, Гиголо А.И., Лисицкий В.В. Антенные решетки систем спутникового телевидения (обзор). // Журнал «Антенны» № 4, 2016 г. С. 22-33.
4. Д.И. Воскресенский, Е.В. Овчинникова, С.Г. Кондратьева, Фам Ван Винь, П.А. Шмачилин. Печатная широкополосная бортовая антенна с пластинчатой структурой. // Журнал «Электросвязь» №10, 2017 г, С.28-33.
5. Д.И. Воскресенский, Е.В. Овчинникова, С.Г. Кондратьева, Фам Ван Винь, П.А. Шмачилин. Двухдиапазонная рупорная антенная решетка системы спутникового телевидения. // Журнал «Антенны», №3, 2018г, С. 8-18.
6. Овчинникова Е.В., Фам Ван Винь, Кондратьева С.Г., Генералов А.Г., Гаджиев Э.В., Васильев О.В., Калинин Т.В., Васильев В.Д. Особенности построения бортовых антенных решёток космических аппаратов. Журнал «Радиотехнические и телекоммуникационные системы» №3 (2018), 11.10.2018. С.66-76.

Патенты Российской Федерации:

7. Д.И. Воскресенский, Е.В. Овчинникова, С.Г. Кондратьева, Фам Ван Винь. Двухдиапазонная антенна приема и передачи сигналов спутникового телевидения. Патент на полезную модель №183651 от 28.09.18.

Публикации в других научных журналах:

8. Фам Ван Винь, Гаджиев Э.В., Васильев О.В., Калинин Т.В., Васильев В.Д. Двухдиапазонная микрополосковая антенная решетка системы спутникового телевидения. Журнал «Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ». №6, 2017 г., Т. 161. № 6. С. 12-16.

Труды и материалы международных научно-технических конференций:

9. Фам Ван Винь, Гиголо А.И., Шмачилин П.А., Кондратьева С.Г., Овчинникова Е.В. Двухдиапазонная антенная решетка бортовой системы спутниковой связи. Труды 15-й Международной конференции «Авиация и космонавтика», Москва, 14-18 ноября 2016, С.374-375.
10. Фам Ван Винь. Антенные решетки систем спутникового телевидения. Труды Международной молодежной научной конференции «Гагаринские чтения» – 2016. Москва, 12-15 апреля 2016 г, С.500-501.
11. Фам Ван Винь. Двухдиапазонная антенная решетка спутникового телевидения. Труды 26-й Международной конференции "СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии" Севастополь, сентябрь 2016 г, С.896-901.
12. Фам Ван Винь, Шмачилин П.А., Кондратьева С.Г. Широкополосные микрополосковые антенны телекоммуникационных систем. Труды международной молодежной научной конференции «Гагаринские чтения», 5-19 апреля 2017, г. Москва, МАИ, С.653-654.
13. Фам Ван Винь, Овчинникова Е.В. Широкополосные излучатели мобильных телекоммуникационных систем. Пятая международная научно-техническая конференция «Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли» 25 мая 2017г. Москва, С.157-159.
14. Фам Ван Винь, Шмачилин П.А., Кондратьева С.Г, Гаджиев Э.В. Широкополосные антенны систем спутникового телевидения. Труды 27-й Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо 2017)), 10-16 сентября 2017, г. Севастополь, С.618-622.
15. Фам Ван Винь. Моделирование антенных систем спутникового телевидения. Труды международной молодежной научной конференции «Гагаринские чтения», 17-20 апреля 2018, г. Москва, МАИ, С.223-224.
16. Фам Ван Винь, Овчинникова Е.В, Гаджиев Э.В, Васильев О. В. Моделирование двухдиапазонных антенных решеток. Труды шестой международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли». 24 мая 2018, г.Москва, С.136-138.
17. Фам Ван Винь, Овчинникова Е.В. Двухдиапазонные антенные системы спутникового телевидения. Труды 28-й Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо 2018)), 9-15 сентября 2018, г. Севастополь, С.570-574.