

На правах рукописи



Нгуен Динь То

**МНОГОЭЛЕМЕНТНЫЕ АНТЕННЫЕ СИСТЕМЫ РАДИОЛИНИИ
ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ**

Специальность 2.2.14.

Антенны, СВЧ-устройства и их технологии

(технические науки)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Москва – 2022

Работа выполнена на кафедре 406 «Радиофизика, антенны и микроволновая техника» Московского авиационного института (национального исследовательского университета)

Научный руководитель: - **Овчинникова Елена Викторовна**,
доктор технических наук, доцент,
Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)

Официальные оппоненты: - **Кирпанев Алексей Владимирович**,
доктор технических наук, доцент, начальник
отдела антенн W-диапазона АО «Научно-
производственного предприятия «Радар ММС»
- **Манаенков Евгений Васильевич**,
кандидат технических наук, начальник отдела
АО ЦКБА

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «МИРЭА - Российский
технологический университет», 119454, ЦФО, г.
Москва, Проспект Вернадского, д. 78

Защита состоится «29» декабря 2022 г. в «15:00» часов на заседании диссертационного совета 24.2.327.01 в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» по адресу: 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» и на сайте МАИ по ссылке:
https://mai.ru/events/defence/index.php?ELEMENT_ID=168004

Автореферат разослан «___»_____2022 г.

Отзыв, заверенный печатью, просим направлять по адресу:
125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д.4. Ученый Совет МАИ.

Ученый секретарь диссертационного совета

 А.А. Горбунова

Общая характеристика работы

Актуальность темы

Одним из приоритетных направлений улучшения технических характеристик информационных спутниковых систем является совершенствование антенной техники, устанавливаемой на борту малых космических аппаратов (МКА). Модернизация бортовой аппаратуры осуществляется путем минимизации конструкций, создания многофункциональных систем и повышения энергетического потенциала. На борту МКА размещается значительное число прямо-передающих антенн различных радиосистем. В состав бортовой аппаратуры входят антенны телекоммуникационных систем различного назначения, радиолинии передачи целевой информации (РЛЦИ), антенны межспутниковой связи, антенны ГЛОНАСС, GPS, антенны КОСПАС-САРСАТ [1].

Одной из важнейших задач, решаемых РЛЦИ, является установление сеансов связи между космическим аппаратом (КА) и наземными станциями спутниковой связи, обеспечивающее качественный обмен информацией в ограниченном временном интервале [1-4]. Особую сложность представляет решение этой задачи из-за ограниченного количества пунктов приёма информации, а также малого времени сеансов связи [1,4]. На территории РФ находятся три пункта, позволяющие осуществлять прием целевой информации с КА. Еще одной сложностью является передача целевой информации на пункты приема, расположенные не по траектории движения КА. Поэтому для дальнейшего развития бортовой РЛЦИ необходимо увеличивать скорость передачи данных и разрабатывать высокоскоростные радиолинии (ВРЛ) [4]. Один из наиболее эффективных способов увеличения скорости передачи информации состоит в изыскании путей построения бортовой сканирующей антенной системы.

Помимо скорости передачи данных необходимо повышать информационную емкость каналов связи. Для этой цели используются известные методы [4]. Практическая реализация такой линии связи приводит к

необходимости создания широкополосных антенн с круговой поляризацией поля излучения в широком секторе углов, не менее $\pm 70^\circ$. Для многих типов антенны с круговой поляризацией достижение требуемого коэффициента эллиптичности в широком секторе углов исключает возможность согласования в рабочей полосе частот.

Следующая немаловажная задача связана с повышением энергетического потенциала РЛЦИ, которое может осуществляться различными способами: путем увеличения излучаемой мощности или коэффициента усиления антенны. Как известно, для повышения коэффициента усиления антенн целесообразно использовать многоэлементные антенные системы.

Таким образом, возникает актуальная задача разработки многоэлементной антенной системы для построения высокоскоростной и сверхвысокоскоростной линий передачи информации на современной элементной базе.

Повышение энергетического потенциала и скорости передачи данных современных систем спутниковой связи приводит к необходимости совершенствования конструкций антенн РЛЦИ и дальнейшего развития методов их анализа.

Следовательно, из вышесказанного вытекают основные цели и задачи диссертационной работы.

Объекты и предметы исследований

К объектам диссертационных исследований относятся антенные решетки РЛЦИ с круговой поляризацией. Предметами исследований являются волноводные АР с эллиптической поляризацией и расширенным сектором зоны покрытия.

Цель и задачи работы

Целью диссертации является изыскание возможностей реализации многоэлементных АР РЛЦИ МКА с эллиптической поляризацией.

Для достижения указанной цели в рамках общей проблемы разработки и создания многоэлементных антенных систем РЛЦИ МКА в диссертационной работе решены следующие задачи:

- Составлен обзор литературы, содержащий различные способы практической реализации антенных решеток (АР) РЛЦИ МКА.
- Исследованы направленные свойства и частотные характеристики волноводных излучателей, обеспечивающих коэффициент эллиптичности не менее 0.7 в секторе углов $\pm 70^\circ$.
- Предложена конструкция малогабаритного волноводного излучателя и проведена его параметрическая оптимизация.
- Разработаны многоэлементные антенные решетки систем РЛЦИ и исследованы их характеристики.

Методы исследования

Теория СВЧ устройств и антенн с эллиптической поляризацией, синтез антенных решеток, численные методы, заложенные в решающие модули программ моделирования устройств СВЧ, методы теории вероятности.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

- Разработана модель волноводного излучателя на основе ступенчатого поляризатора, продольные размеры которого на 45% меньше, чем у существующих аналогов.
- Разработаны многоэлементные антенные решетки систем РЛЦИ МКА, работающие в X-диапазоне и обеспечивающие коэффициент эллиптичности не менее 0.7 в секторе углов $\pm 70^\circ$.
- Разработаны алгоритмы синтеза характеристик направленности антенных решеток в виде секторных функций Чебышева нечетных порядков.
- Разработана методика расчета статистических характеристик антенных решеток, позволяющая связать технологические погрешности изготовления конструктивных параметров элементов с амплитудным и фазовыми ошибками возбуждения антенного полотна.

Практическая значимость результатов работы

Приводимые в диссертации модели антенных решеток, а также результаты расчета их статистических характеристик позволяют определить основные конструктивные параметры и оценить технологичность конструкции, существенно сокращая время подготовки таких систем к производству. Рассматриваемые в работе модели могут быть использованы не только для построения РЛЦИ, но и в других отраслях радиотехники.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Конструкция волноводного излучателя с эллиптической поляризацией, обеспечивающего коэффициент эллиптичности не ниже 0,7 в секторе углов $\pm 70^\circ$, при длине на 45%, меньшей, чем у антенны-прототипа.
2. Модели антенных решеток РЛЦИ, обеспечивающие усиление 16 дБ, коэффициент эллиптичности не ниже 0,7 в секторе углов $\pm 70^\circ$ при продольных габаритах на 70% ниже, чем у приводимого в работе аналога.
3. Методика синтеза характеристик направленности антенных решеток с секторной формой диаграммой, позволяющая изменять зону покрытия антенной решетки в пределах сектора 120° .
4. Методика расчета характеристик направленности антенных решеток радиолинии целевой передачи информации с амплитудными ошибками с величиной среднеквадратического отклонения (СКО), равной 15% и фазовыми ошибками с величиной СКО, равной 10° , позволяющая определить допуски на изготовление элементов антенной решетки.

Достоверность полученных результатов подтверждается

применением методов теории синтеза и статистической теории антенн, прошедших апробацию при разработке антенных решеток мобильных телекоммуникационных систем [6]. Использование компьютерных программ, применяемых для моделирования и численного электродинамического анализа характеристик антенн, достоверность результатов которых подтверждена сравнением с известными результатами, полученными при решении тестовых задач.

Реализация и внедрение результатов работы

Разработанные в диссертационной работе модели, конструкции и методики расчета нашли применение в НИР по созданию антенных решеток РЛЦИ, о чем свидетельствуют акты о внедрении.

Апробация результатов работы

Результаты диссертационной работы были доложены на международных и всероссийских конференциях: Международной молодёжной научной конференции Гагаринские чтения – Москва, 12-15 апреля 2019г., Гагаринские чтения – Москва, 23-25 апреля 2020г. «Проблемы создания КС ДЗЗ», г. Москва, 13 мая 2019., «Проблемы создания космических систем ДЗЗ». г. Москва, 27 апреля 2020 г., «Актуальные проблемы создания КС ДЗЗ». г. Москва, 27 октября 2021 г., Всероссийской открытой научно-технической конференции «Современные проблемы ДЗЗ, распространения и дифракции волн», г. Муром, 28-30 мая 2019., «Современные проблемы ДЗЗ, радиолокации, распространения и дифракции волн». Армандовские чтения 2020. г. Муром, 23–25 июня 2020 г., «Современные проблемы ДЗЗ, радиолокации, распространения и дифракции волн». Армандовские чтения. г. Муром, 25-27 мая 2021 г., 29-й Международной конференции "СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии" Севастополь, сентябрь 2019 г., 30-й Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо 2020)), 6-12 сентября 2020, 31-й Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо 2021)), 5-11 сентября 2021, 18-й Международной конференции «Авиация и космонавтика» Москва, 18-22 ноября 2019 г., «Авиация и космонавтика» Москва, 24-25 ноября 2021 г., 6th International Conference «Engineering and Telecommunication En&T-2019», Москва, 20-21 ноября 2019 г., 7th International Conference «Engineering and Telecommunication En&T-2020». Москва, 25-26 ноября 2020 г., 8th International Conference «Engineering and Telecommunication En&T-2020». Москва, 24-25 ноября 2021 г.

Публикации

Результаты диссертационной работы представлены в 12 печатных трудах, из которых 5 статей опубликованы в российских журналах, включенных в перечень ВАК, 1 статья опубликована в журнале, включенном в международные системы цитирования (Скопус), 6 докладов опубликованы в сборниках трудов Международных и Всероссийских конференций, а также получен патент на полезную модель.

Личный вклад автора заключается в моделировании излучателей и антенных решеток для РЛЦИ, в разработке методик расчета статистических характеристик, разработке методик синтеза антенн из волноводных излучателей и их параметрической оптимизации.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из вводной части, основное её содержание изложено в 4-х главах. В завершении работы приводятся заключение, вводимые обозначения и перечень источников. Работа содержит 104 страницы машинописного текста, в состав которого входят российские и зарубежные литературные источники, всего 71 наименование на 9 страницах.

Содержание работы

Во **введении** обоснована актуальность исследования обусловлена разработка многоэлементной сканирующей антенной системы для построения высокоскоростной и сверхвысокоскоростной линий передачи информации на современной элементной базе.

В **первой главе** приведены конструкции антенн МКА, приспособленные к вибрационным нагрузкам и работе в широком диапазоне температур. Определены требования к конструкциям и характеристикам спутниковых антенн РЛЦИ. Показаны конструкции рупорных антенн с механическим сканированием, устанавливаемые на отечественных и зарубежных спутниках. Определены преимущества рупорных антенн, такие как высокая надежность и электрическая прочность, широкая рабочая полоса, малые потери. Показаны

примеры применения таких антенн на борту МКА и отмечена их работоспособность при ударных и вибрационных нагрузках. Однако необходимость построения высокоскоростной радиолинии (ВРЛ) требует увеличения энергетического потенциала и перехода к антенным системам.

В рассмотренных работах показана возможность повышения энергетического потенциала путем использования двух параболических зеркальных антенн. Отмечены недостатки такого подхода к построению антенн РЛЦИ, связанные с необходимостью использования двух передатчиков на борту МКА, обеспечения ЭМС, а также значительные габариты. Показаны преимущества антенных решеток в сравнении с параболическими зеркальными антеннами. Они заключаются в уменьшении массогабаритных характеристик и применении только одного передатчика. Определены пути построения антенных систем РЛЦИ, позволяющих увеличить энергетический потенциал и скорость передачи данных, а также уменьшить энергопотребление передающих систем. Таким образом, одним из возможных путей построения ВРЛ КА является применение остронаправленной бортовой антенной решетки с приводом.

Показана целесообразность исследования характеристик антенных решеток, применительно к РЛЦИ МКА, а также необходимость определения путей построения многоэлементных антенных систем. Обоснован выбор рабочего диапазона частот антенных решеток радиолинии передачи целевой информации.

Во **второй главе** исследованы характеристики различных конструкций волноводных излучателей, обеспечивающих требуемые поляризационные характеристики. Разработана и исследована конструкция волноводного излучателя, которая позволяет в два раза уменьшить его длину за счет применения комбинированной замедляющей структуры, состоящей из двух выступов и перегородки. При этом сохраняются частотные и поляризационные характеристики, полученные при исследовании поляризатора-прототипа, известного из литературы. Волноводный излучатель на основе поляризатора с

комбинированной замедляющей системой в виде линейной перегородки и двух выступов приведен на рис. 1. На рис. 2 показаны зависимости поляризационных характеристик от азимутальной координаты [9] для излучателей с линейной перегородкой и перегородкой в виде набора ступеней. На рис. 2 черными линиями обозначены коэффициенты эллиптичности для излучателя с линейной перегородкой, а красными – для излучателя со ступенчатой перегородкой.

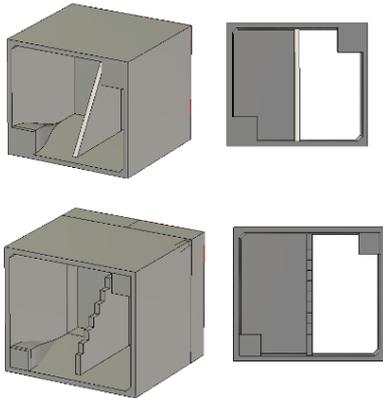


Рис. 1. Общий вид излучателя

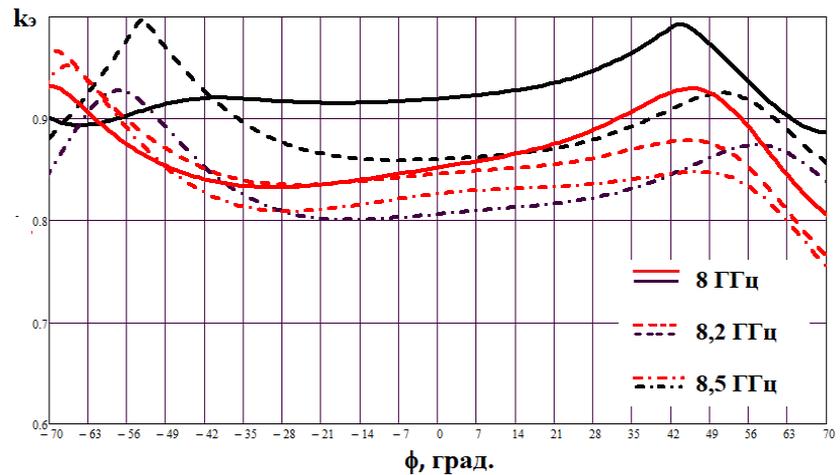


Рис. 2. Зависимости поляризационных характеристик от азимутальной угловой координаты

Разработаны и исследованы модели линейных АР из излучателей на основе волноводного поляризатора с выступами, линейной перегородкой и ступенчатой перегородкой. Отмечено влияние эффекта взаимодействия излучателей на характеристики направленности, а следовательно, и на поляризационные характеристики АР. Для снижения влияния взаимодействия рассмотрены антенные решетки с пространственным разнесением элементов.

На рис. 3 черным цветом обозначены результаты расчета зависимостей коэффициентов эллиптичности от азимутальной угловой координаты для АР из излучателей с линейной перегородкой выступами, а красным цветом показана аналогичная зависимость, приведенная в литературе для АР из волноводов. Аналогичные зависимости для АР со ступенчатой перегородкой показаны на рис. 4.

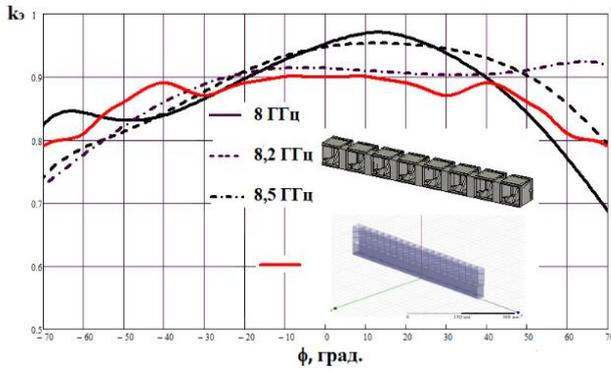


Рис. 3. Зависимости поляризационных характеристик от пространственной угловой координаты для АР из излучателей с линейной перегородкой выступами.

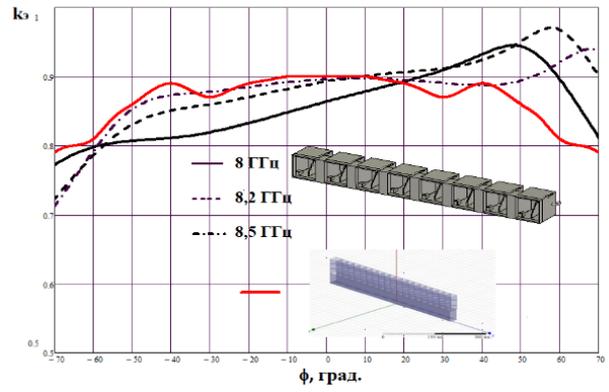


Рис. 4. Зависимости поляризационных характеристик от пространственной угловой координаты для АР из излучателей со ступенчатой перегородкой выступами.

Показано, что пространственное разнесение элементов позволяет улучшить поляризационные характеристики антенной решетки, поэтому одним из способов сглаживания поляризационных характеристик является синтез размещения элементов в полотне решетки, который также позволяет осуществлять управление сектором покрытия за счет изменения АФР.

В третьей главе разработана методика синтеза характеристик направленности специальной формы антенной решетки РЛЦИ, обеспечивающая требуемые значения коэффициента эллиптичности в секторе размещения пунктов приема. Для получения требуемых поляризационных характеристик и характеристик направленности предлагается использовать ДН решетки в виде модифицированной функции Чебышева нечетного порядка:

$$F(\phi) = \begin{cases} 1 - hT_n\left(\frac{\phi}{s}\right) & \text{if } -\phi_1 < \phi < \phi_1 \\ hT_n\left(\frac{\phi}{s}\right) & \text{if } |\phi| > \phi_1 \end{cases}, \quad (1)$$

где h, s - нормирующие коэффициенты, T_n - функция Чебышева первого рода n -го порядка.

Функции (1) для $n=11,15,19$ приведены на рис. 5. На рис. 6 показано разложение в ряд Фурье трех функций. Требуемая форма секторной ДН для спутниковой антенны системы передачи целевой информации приведена на рис. 8.

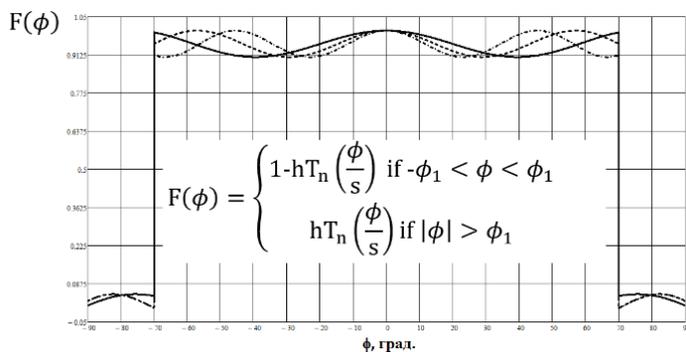


Рис. 5. Функции Чебышева нечетного порядка

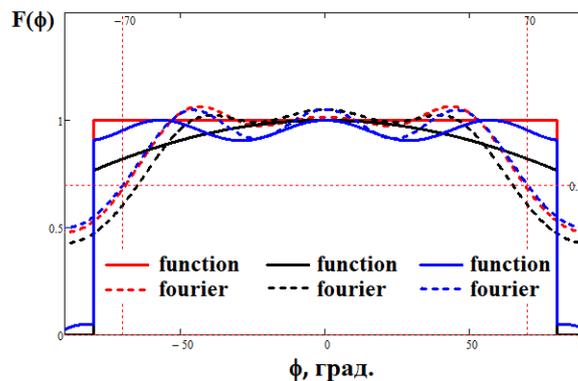


Рис. 6. Разложение шаблонных функций в ряд Фурье

Максимальное отклонение требуемой формы ДН от расчетной определяется выражением:

$$\Delta f(\phi) = \max |F(\phi) - f(\phi)|, \quad (2)$$

где $F(f)$ - требуемая форма ДН, $f(f)$ – синтезируемая форма ДН.

Максимальное отклонение рассматриваемых функций от требуемых приведено на рис. 7.

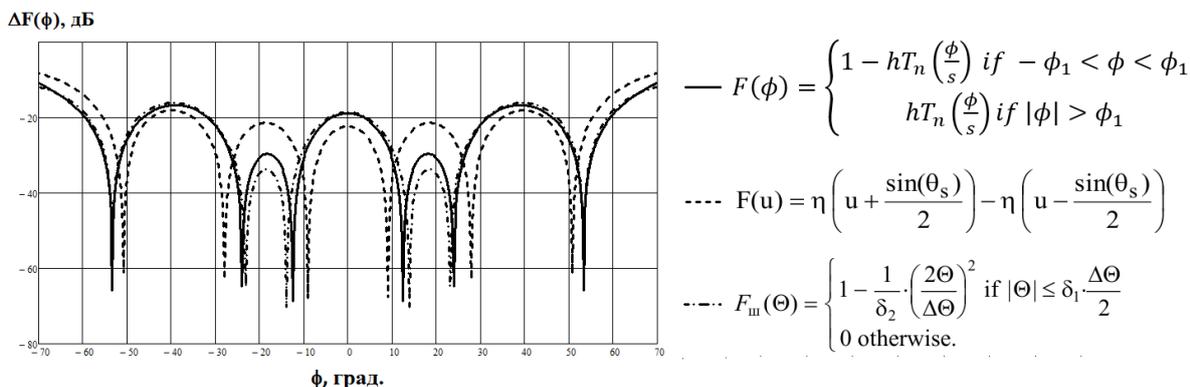


Рис. 7. Максимальное отклонение рассматриваемых функций от требуемых

На рис. 7 сплошной линией показана кривая, соответствующая максимальному отклонению для функции Чебышева $n=15$ порядка. Выбор функций нечетных порядков обусловлен минимальным отклонением требуемой формы ДН от расчетной. На рис. 8 приведены синтезированные ДН решеток из $N=8,16$ и 32 элементов, совмещенные с ДН требуемой формы.

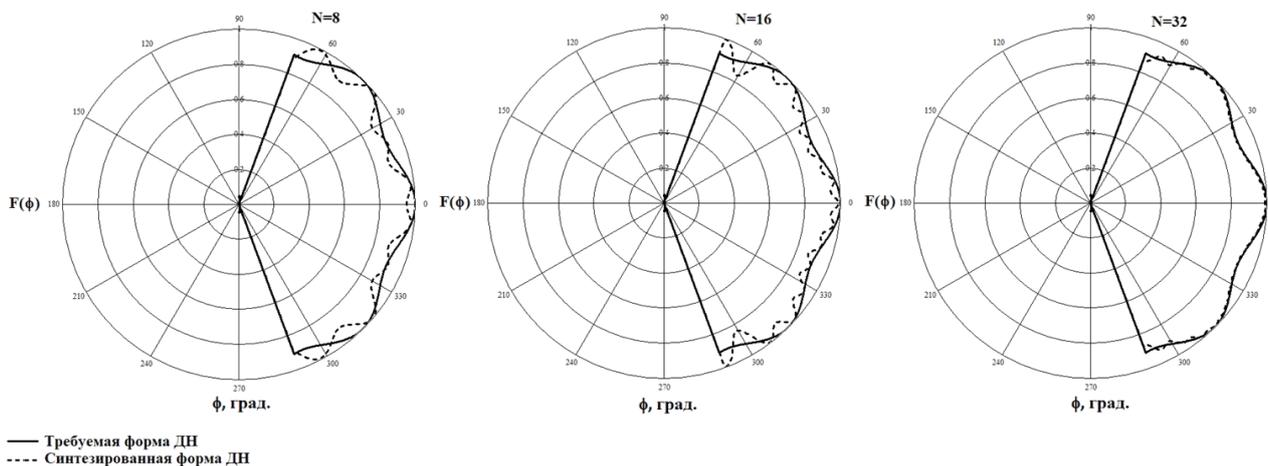


Рис. 8. Синтезированные ДН решеток из $N=8, 16$ и 32 элементов

Расчет показывает, что для решетки из $N=8$ излучателей разложение в ряд Фурье даёт наименьшее искажение шаблонной функции и соответствует геометрии задачи. Из рисунков видно, что наилучшим образом требуемая ДН аппроксимируется решеткой из $N=32$ элементов. Если требуется получить равномерную ДН в более узком секторе, то количество излучателей может быть уменьшено.

В четвертой главе исследованы зависимости основных характеристик от разброса конструктивных параметров волноводного излучателя и антенных решеток. Решение задачи проведено с помощью статистической теории антенн. Расчет статистических характеристик позволил связать допуски на изготовление антенны с допустимыми изменениями характеристик направленности и поляризационных характеристик. Характеристики рассчитывались для амплитудных ошибок с СКО, равной 15% и фазовых ошибок с величиной СКО, равной 10° . Статистика ошибок взята с производства.

Проведенные расчеты позволяют найти допустимые величины искажений поляризационных характеристик, обеспечивающие функционирование антенной системы. Однако при практической реализации антенны важно знать, какая точность изготовления должна выдерживаться при воспроизведении ее конструктивных параметров. В рассматриваемом диапазоне частот шероховатость поверхности волновода слабо влияет на поляризационные

характеристики, характеристики направленности и согласования. А точность изготовления выступов и пластины могут оказать существенное влияние. Поэтому в работе дана оценка изменения параметров этих элементов конструкции на её характеристики. Для расчета поляризационных характеристик были использованы методы статистической теории антенн. На рис. 9 показано изменение угла пластины по случайному закону с линейно нарастающей зависимостью параметра α .

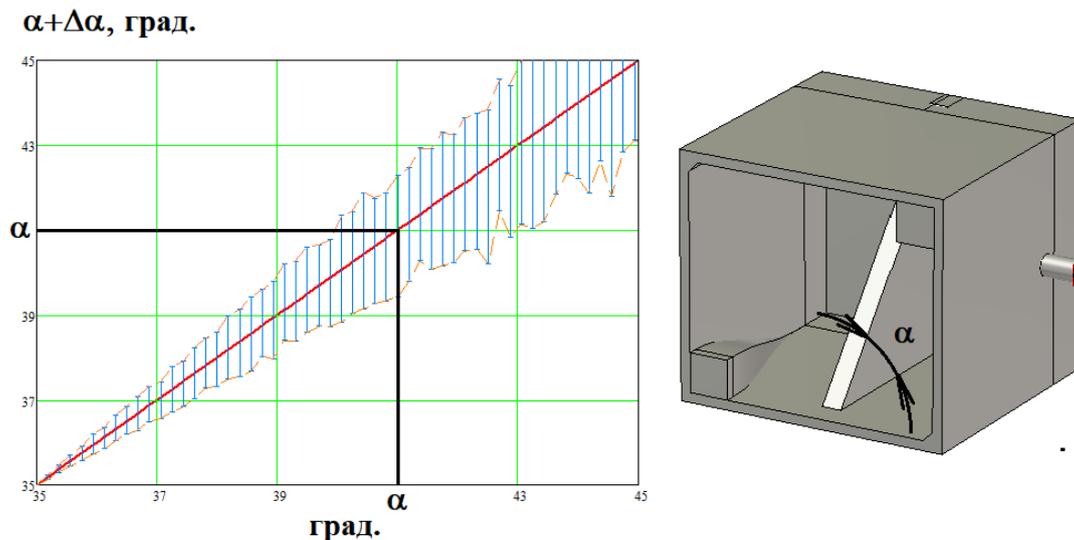


Рис. 9. Изменение угла пластины по случайному закону с линейно нарастающей зависимостью параметра α .

На рис. 10-12 представлены графики, иллюстрирующие изменение поляризационных характеристик [7*,9] от координат для разных значений α .

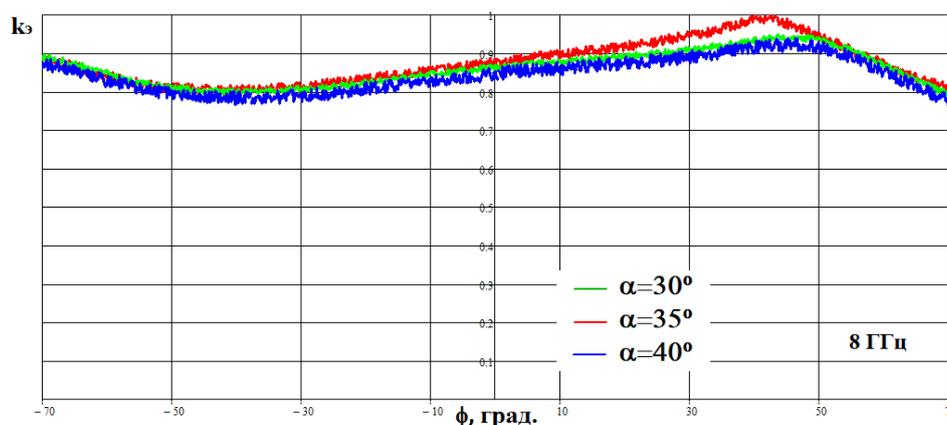


Рис. 10. Зависимости поляризационных характеристик [7*,9] от координат для разных значений α на частоте $\alpha=8$ ГГц.

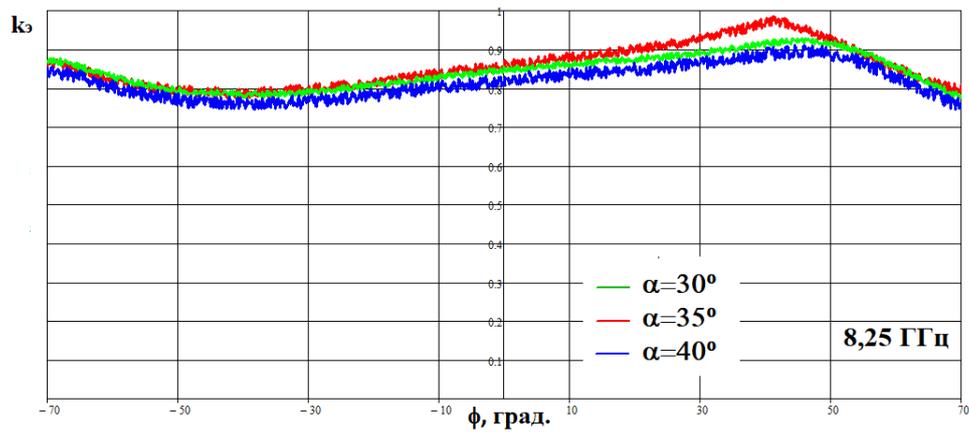


Рис. 11. Зависимости поляризационных характеристик от координат для разных значений α на частоте $a=8,25$ ГГц.

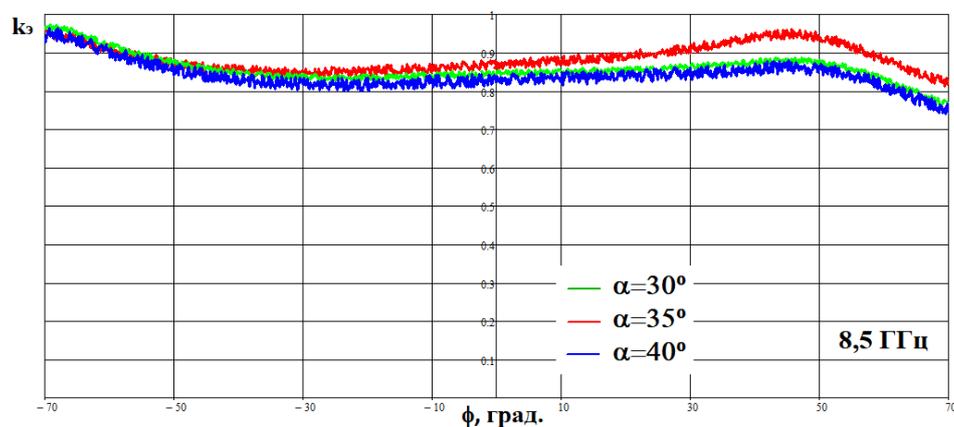


Рис. 12. Зависимости поляризационных характеристик от координат для разных значений α на частоте $a=8,5$ ГГц.

Из рисунков видно, что оптимальным углом среза пластины является угол $\alpha=35^\circ$. Изменение угла на 5° соответствует увеличению или уменьшению среза на 2 мм. Современная технология изготовления волноводных устройств позволяет выдерживать и меньшие допуски.

Параметры выступов могут изменяться примерно на 1,5-2 мм, что дает незначительные изменения поляризационных характеристик. Другие характеристики также не меняются в широких пределах.

Изменения параметров в процессе изготовления могут быть систематическими или случайными. Первый тип изменений легко учесть и предотвратить. Что касается второго типа, то целесообразно для оценки изменений использовать статистическую модель расчета. В соответствии со статистической теорией антенн, фазовая ошибка имеет равномерное

распределение плотности вероятности в интервале $[-\pi, \pi]$, а амплитудная ошибка достаточно полно описывается нормальным законом распределения. Дисперсия коэффициента усиления и УБЛ линейной АР определяются из диаграммы направленности антенной решетки, при расчете которой учитываются как амплитудные, так и фазовые ошибки [6*]:

$$F(\theta, \varphi) = \sum_{n=1}^N f(\theta, \varphi) [A_n + r_n e^{j\alpha_n}] e^{jk(x_n \cos(\varphi) \sin(\theta))} \quad (3)$$

где $f(\theta, \varphi)$ – диаграмма излучателя антенной решетки, r_n – амплитудная ошибка, α_n – фазовая ошибка, A_n – амплитуда возбуждения элемента.

Закон распределения фазовой ошибки определяется следующим выражением:

$$P(\alpha) = \begin{cases} \frac{1}{2\pi}, & -\pi \leq \alpha \leq \pi, \\ 0, & \alpha > \pi. \end{cases} \quad (4)$$

Амплитудная ошибка, обычно, распределена по нормальному закону [6*]:

$$P(r) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{\sigma_r} e^{-\frac{r^2}{\sigma_r^2}} \quad (5)$$

где σ_r – дисперсия величины r .

В диссертационной работе приведены диаграммы направленности одиночного излучателя в азимутальной плоскости, и они мало отличаются от ДН того же излучателя в составе антенной решетки. Из результатов расчета видно, что при амплитудных ошибках с СКО, равным 15% и фазовых ошибках с СКО, равным 10° характеристики направленности и согласования изменяются в допустимых пределах.

Заключение

В диссертационной работе предложены и разработаны варианты построения антенных решеток РЛЦИ, а также выявлен ряд преимуществ для практического использования, связанных минимизацией продольных габаритов и повышением энергетического потенциала по сравнению с двумя зеркальными

антеннами, применяемыми на борту МКА в настоящее время, а также получены результаты, приводимые ниже:

1. Проведён обзор существующих антенн телекоммуникационных систем, устанавливаемых на борту МКА. В результате обоснован выбор рабочего диапазона и показана целесообразность разработки антенных систем для РЛЦИ, 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 волноводных излучателей на основе ступенчатых поляризаторов с различной формой перегородки, обеспечивающих коэффициент эллиптичности не менее 0.7 в секторе углов $\pm 70^\circ$.

3. Разработана конструкция волноводного излучателя с комбинированной замедляющей системой, позволяющей уменьшить его длину на 45% по сравнению с аналогичными излучателями на квадратном волноводе путем добавления двух выступов с экспоненциальной огибающей.

4. Разработаны модели многоэлементных АР, состоящих из волноводных излучателей с выступами, линейной и ступенчатой перегородками.

5. Проведено моделирование многоэлементных антенных систем из волноводных излучателей. Определены диаграммы направленности, поляризационные характеристики и зависимости КСВ от частоты с учетом погрешностей изготовления элементов антенного полотна, приводящих к возникновению амплитудных и фазовых ошибок с СКО, равной 15% и 10° соответственно.

6. Результаты диссертационной работы опубликованы в 6 статьях, доложены на 6 конференций и получен патент на полезную модель.

ЦИТИРУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

- 1*. Генералов А.Г., Гаджиев Э.В. Состояние и перспективы развития бортовых антенно–фидерных устройств радиолинии передачи целевой информации. Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2018. № 2 (30). С. 44–52.
- 2*. Генералов А. Г., Гаджиев Э. В. К вопросу о построении остронаправленной перенацеливаемой бортовой антенны космических аппаратов // Сборник тезисов Второй молодёжной конференции «Инновационная деятельность в науке и технике. Электромеханика, автоматика и робототехника». – Истра: АО «НИИЭМ», 2018. С. 33 – 36.
- 3*. Овчинникова Е.В., Шмачилин П.А., Кондратьева С.Г., Генералов А.Г., Гаджиев Э.В. Состояние и перспективы развития АФУ РЛЦИ КА. Тезисы докладов Пятой международной научно–технической конференции «Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли». – М.: АО «Корпорация «ВНИИЭМ». 2017. С. 160–162.
- 4*. Бахтин А.А., Омелянчук Е.В., Семенова А.Ю. Анализ современных возможностей организации сверхвысокоскоростных спутниковых радиолиний. Труды МАИ. 2017. № 96.

Публикации в журналах из перечня ВАК:

1. Е.В. Овчинникова, С. Г. Кондратьева, П. А. Шмачилин, Нгуен Динь То, А. Г. Генералов, Э. В. Гаджиев, М. Р. Салихов. Применение рупорной антенны в качестве бортовой антенны радиолинии передачи целевой информации. «Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ.» – 2019. - Т. 173. - № 6. - С. 41-50.
2. Д.И. Воскресенский, Е.В. Овчинникова, Нгуен Динь То, С.Г. Кондратьева, П.А. Шмачилин. Расширение рабочей полосы печатных излучателей с помощью распределенного возбуждения. Журнал «Электросвязь» № 4, 2020. С.44-47.
3. Е.В. Овчинникова, М.А. Соков, С.Г. Кондратьева, А.О. Перфилова, П.А. Шмачилин, Нгуен Динь То, Щербачёв А.Ю. Моделирование коаксиального вращающегося сочленения. «Антенны», №5 (267) , 2020, С.56-63.

4. Е.В. Овчинникова, Э.В. Гаджиев, С.Г. Кондратьева, А.О. Перфилова, П.А. Шмачилин, Нгуен Динь То. Антенные системы радиолинии передачи информации космических аппаратов: Состояние и перспективы развития. Журнал «Радиотехника», 2021. Т. 85. № 3. С. 86–95.
5. Е.В. Овчинникова, Э.В. Гаджиев, С.Г. Кондратьева, А.О. Перфилова, П.А. Шмачилин, Нгуен Динь То. Моделирование антенной решетки из волноводных излучателей на основе септум-поляризаторов. «Радиотехника», т. 85, № 4, 2021 г., с. 108–118.

Публикации в журналах, включенных в международные системы цитирования:

6. E.V. Ovchinnikova, Nguyen Dinh To, S G Kondratyeva, P A Shmachilin, E V Gadzhitv, A I Gigolo. Waveguide antenna array with a strip distribution system. Simulating a microstrip vibrator emitter. Journal of Physics: Conference Series 1632 (2020) 012022 IOP Publishing. doi:10.1088/1742-6596/1632/1/012022.

Публикации в других изданиях

7. Е.В. Овчинникова, Nguyen Dinh To, А.Г. Генералов, Э.В. Гаджиев, С.Г. Кондратьева, П.А. Шмачилин. Antenna systems for small spacecraft radio data communication channels. 29th International Crimean Conference “Microwave & Telecommunication Technology” (CriMiCo’2019)/ITM Web of Conferences. — 2019. — V. 30. — 05007.
8. Е.В. Овчинникова, Э.В. Гаджиев, С.Г. Кондратьева, П.А. Шмачилин, Нгуен Динь То. Волноводная антенная решетка X-диапазона с эллиптической поляризацией. Сборник докладов 30-й Международной конференции КрыМиКо 2021, 6-12 сентября 2021, г. Севастополь, С.114-115.
9. Е.В. Овчинникова, Э.В. Гаджиев, С.Г. Кондратьева, П.А. Шмачилин, Нгуен Динь То, А.И. Гиголо. Волноводная антенная решётка с полосковой распределительной системой. Сборник тезисов Всероссийской открытой научной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн» - Муром 2021. С.446-450.

10. Нгуен Динь То. AP системы СС с эллиптической поляризацией. Труды Международной молодёжной научной конференции Гагаринские чтения – 2020. Москва, С.638-639.
11. Овчинникова Е.В. , Нгуен Динь То, Кондратьева С.Г., Шмачилин П.А., Гиголо А.И., Цыцаркин И.Н. Моделирование антенной решетки из волноводных излучателей с круговой поляризацией. Труды 8-й международной конференции «Проблемы создания космических систем ДЗЗ», г. Москва, 27 апреля 2020.
12. Нгуен Динь То, Овчинникова Е.В., Трофимова Т.А., Кондратьева С.Г. Моделирование линейной антенной решетки из излучателей на основе малогабаритного волноводного поляризатора с выступами и линейной перегородкой. 20-я Международная конференция «Авиация и космонавтика». 22-26 ноября 2021 года. Москва. Тезисы. – М.: Издательство «Перо», 2021.С. 321–322.
13. Овчинникова Е.В., Нгуен Динь То. Излучатель на квадратном волноводе с пластинчатой замедляющей структурой и выступами. Патент на полезную модель, № 210627 от 22 апреля 2022 г.