

СТУПАКОВ ГЕНПАДИЙ ВАЛЕНТИНОВИЧ

**Разработка и оптимизация параметров
двухзеркальной антенны для спутниковых
систем связи**

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00754338 (U)

Севастопольский государственный технический
университет

На правах рукописи

СТУПАКОВ ГЕННАДИИ ВАЛЕНТИНОВИЧ

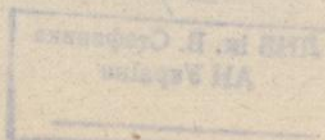
УДК 621.396.777.83

РАЗРАБОТКА И ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ
ДВУХЗЕРКАЛЬНОЙ АНТЕННЫ ДЛЯ СПУТНИКОВЫХ
СИСТЕМ СВЯЗИ

06.12.07 - Антенны и устройства микроволновой техники

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Севастополь - 1995



621.396.6
Робота виконана в Севастопольському державному
технічному університеті (департамент радіотехніки)

Научний керівитель - доктор технічних наук,
професор
ЛОБКОВА Любов Михайлівна

Офіційні опоненти - доктор технічних наук,
професор
ИЛЬНИЦКИЙ Людвиг Яковлевич
- кандидат технічних наук
ЕРМОЛОВ Павел Петрович

Ведуче підприємство - МГІ НАНУ (г. Севастополь)

Захист состоится "26" декабря 1995 года в 14 часов
на засіданні спеціалізованого Ради К 068.15.05 в
Севастопольському державному технічному університеті.

Адрес університета : 335053, г. Севастополь, Стрелецкая
бухта, Студгородок.

С дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці
університета.

Автореферат розослан "20" ноября 1995 года.

Учений секретарь
спеціалізованого Ради
К 068.15.05. к.т.н., доцент


З.А. Левин

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

ТВ - 33, 667 3

Актуальность темы.

Интенсивное освоение диапазонов сантиметровых и миллиметровых радиоволн при построении наземных и космических систем связи привело к необходимости пересмотра сложившихся традиций при расчете дифракционных антенн, как в одно-, так и в двух- и многозеркальном варианте с целью оптимизации их характеристик излучения и решения задач электромагнитной совместимости с существующими системами радиосвязи.

В настоящее время получены строгие решения для разнообразных вариантов дифракционных антенн, существуют асимптотические методы их расчета. Однако, на основании этих решений трудно представить физическую модель реальной антенны и создать доступные для инженерных решений методы расчета и проектирования данного класса антенн с оптимальными параметрами.

Основная проблема при построении двухзеркальных антенн заключается в том, что нет обоснованного выбора основных геометрических параметров как основного зеркала, так и вспомогательного.

Существующие типы двухзеркальных антенн строятся, главным образом, на применении длиннофокусных зеркал при основном требовании - уменьшении бокового излучения и получении максимального значения коэффициента усиления антенны.

Однако, применение антенн в реальных условиях (бортовые антенны ИСЗ, летательных аппаратов, земных станций) показало, что необходимо пересмотреть критерии оптимального выбора параметров антенны, уделяя особое внимание условиям

характеристикам антенн, ее коэффициентом рассеяния и использования апертуры.

Все вышесказанное обусловило необходимость перехода к предельным и даже глубоким зеркалам, однако при этом возникает сложнейшая задача создания облучающей системы с заданной амплитудной и фазовой характеристиками перестраиваемого поля малым зеркалом.

При разработке математических методов оптимизации параметров двухзеркальных антенн необходимо было учесть близость расположения излучающих и перестраиваемых элементов антенны, что в существующих методах исключалось. Видимо, поэтому существующие методы инженерного расчета не отражают реальной ситуации в механизмах формирования поля излучения антенной системы.

В связи со сказанным и в виду важности требований практики была предпринята попытка теоретического и экспериментального исследований двухзеркальной антенны Кассегрена и разработки инженерного метода ее расчета.

Цель и основные задачи исследования.

Целью настоящей работы явилось решение проблемы оптимизации геометрических параметров двухзеркальной антенны с применением геометрикооптического приближения, описывающего всю совокупность особенностей формирования поля излучения антенной системы.

Основные задачи исследования включали следующее:

I. Разработку метода расчета двухзеркальной антенны Кассегрена на основе геометрикооптического приближения, позволяющего выявить механизм пространственной поляризационной структуры поля излучения, обусловленной

влиянием амплитудно-фазовых распределений как в апертуре облучателя, так и на малом зеркале.

2. Теоретическое и экспериментальное исследование характеристик облучающей системы.

3. Проведение численных расчетов для оценки влияния ближней зоны в облучающей системе и определения способов компенсации дифракционных искажений поля в апертуре большого зеркала.

4. Выявление характера зависимости характеристик излучения антенны от основных факторов: размера и формы малого зеркала, уровня облучения его края, размера апертуры облучателя и уровня поля на краю его раскрытия, положения облучателя относительно сопряженного фокуса малого зеркала, его профиля, распределения фазы поля в апертуре облучателя, а также размеров апертуры и фокусного расстояния большого зеркала.

5. Выбор геометрических параметров облучающей системы с целью получения оптимальных значений коэффициента использования поверхности и минимального коэффициента рассеяния антенны.

Методы исследования.

Решение рассматриваемой задачи основано на методе геометрикооптического приближения, при этом основные результаты представлены в виде соотношений для амплитудно-фазового распределения магнитного поля на поверхности малого, а затем на поверхности большого зеркала, что позволило решить задачу определения характеристик излучения антенной системы любым из известных методов (токовым или апертурным).

Научная новизна.

При выполнении диссертационной работы впервые получены следующие результаты:

- предложен метод построения двухзеркальных антенн на основе применения геометрооптического приближения и численных методов оптимизации геометрических параметров антенной системы, при этом главное внимание обращено на построение облучающей системы и анализ влияния амплитудно-фазового распределения в апертуре облучателя на характер распределения поля вблизи поверхности малого зеркала;

- проведено теоретическое исследование зависимости амплитудно-фазового распределения поля вблизи поверхности малого зеркала и поляризационной структуры поля в апертуре большого зеркала от геометрических параметров облучающей системы, а также от амплитудно-фазового распределения в апертуре первичного облучателя;

- на основе апертурного метода выведены формулы для поля излучения антенны, учитывающие всю совокупность геометрических параметров облучающей системы;

- экспериментально исследованы диаграмма направленности, ширина главного лепестка, уровень бокового излучения, коэффициент усиления в зависимости от геометрических и электрических параметров облучающей системы.

Практическая ценность результатов работы.

Предложен метод построения двухзеркальных антенн, позволяющий представить динамику изменения амплитудно-фазового распределения поля в апертуре основного зеркала с

учетом всех геометрических и электрических характеристик облучающей системы.

Разработана методика выбора геометрических параметров как облучающей системы, так и двухзеркальной антенны в целом.

Разработаны численные методы расчета амплитудно-фазовых характеристик распределения поля вблизи малого и большого зеркал, а также в апертуре большого зеркала.

Разработана методика экспериментального исследования характеристик излучения облучающей системы и всей двухзеркальной антенны.

Результаты работы могут быть использованы при проектировании двухзеркальных антенн как для спутниковых систем связи, так и любых других областей их применения.

Результаты диссертационной работы внедрены в Севастопольском КБ Радиосвязи им. В.Д. Калмыкова с экономическим эффектом 5 млрд. руб.

Апробация результатов работы.

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на:

1. Всесоюзной научно-технической конференции "САР и их элементы", Казань, 1990.
2. Научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава Севастопольского государственного технического университета, Севастополь, 1991, 1995 г.г.
3. Заседании Национальной Ассоциации "Антенны", Харьков, 1994.
4. 7 Крымской научно-технической конференции "СВЧ-техника и спутниковые телекоммуникационные технологии",

Севастополь, 1995.

5. Международной конференции "Теория и техника антенн", Харьков, 1995.

Публикации.

По материалам исследований опубликовано 14 работ - 1 научная статья, 1 авторское свидетельство, 2 депонированных рукописи, 2 зарегистрированных отчета, 8 тезисов докладов.

Объем работы.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав и заключения, изложенных на 157 страницах машинописного текста с иллюстрациями на 59 страницах, списка использованных источников из 79 наименований на 9 страницах и трех приложений с программами расчета на ЭВМ и актами внедрения.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Метод построения двухзеркальной антенны, позволяющий исследовать динамику изменения амплитудно-фазового распределения поля в апертуре основного зеркала с учетом всех геометрических и электрических характеристик облучаемой системы.
2. Результаты теоретического исследования амплитудно-фазового распределения поля вблизи поверхности малого зеркала.
3. Результаты теоретического исследования поляризационной структуры поля в апертуре большого зеркала.
4. Формулы, описывающие поле излучения двухзеркальной антенны Кассегрена с частично затененной малым зеркалом апертурой.
5. Численные алгоритмы и программы расчета амплитудно-фазового распределения поля вблизи поверхности малого и большого зеркал и в апертуре большого зеркала.

6. Методика экспериментального исследования характеристик излучения облучаемой системы и всей двухзеркальной антенны.

7. Результаты экспериментального исследования характеристик излучения двухзеркальной антенны Кассегрена.

Содержание работы.

Во введении обоснована актуальность разработки методов построения и оптимизации характеристик двухзеркальных антенн, сформулирована цель диссертационной работы, положения, выносимые на защиту, представлены краткая аннотация основных результатов исследования и содержание диссертации по главам.

Первая глава посвящена анализу требований, предъявляемых к антеннам спутниковых систем связи, а также сравнительному анализу различных типов двухзеркальных антенн, применяемых в реальных условиях.

По отношению к основной области применения - спутниковым системам связи, разработаны требования к основным параметрам характеристик излучения антенн, включающие огибающую диаграммы направленности, допустимые величины коэффициента усиления, необходимые величины добротности земной станции, требуемые значения поляризационной развязки ортогональных составляющих поля излучения антенн (и дополнительной поляризационной развязки с учетом деполяризации в атмосфере).

На основании данных требований показана необходимость оптимизации величины энергетического порога на входе приемной системы, с тем чтобы выявить параметры приемной антенны, оказывающие определяющее влияние на добротность

системы. Проведенный анализ позволил определить решающее влияние коэффициента использования поверхности (КИП) антенны на величину энергетического порога. Так увеличение КИП на одну десятую приводит к увеличению порога на 0,65 дБ, в то время как уменьшение шумовой температуры на 10 К приводит к увеличению энергетического порога лишь на 0,12 дБ.

Показана необходимость анализа влияния турбулентной атмосферы на случайные изменения фазовой структуры и амплитуды поля, чтобы получить оценки статистических характеристик коэффициента усиления антенны. Проведенный анализ показал сильную зависимость потерь коэффициента усиления (КУ) от соотношения диаметра апертуры и радиуса пространственной когерентности фазовых флуктуаций и выявил существенную роль величины дисперсии фазовых флуктуаций. Для получения оценок потерь КУ необходимы данные о метеорологической обстановке в районе расположения земной станции, результаты профилейных измерений индекса преломления и оценки статистических характеристик флуктуаций фазы волны (или углов прихода) в месте приема.

Так при оценке эквивалентной шумовой температуры приемной системы необходимо учитывать определяющее влияние коэффициента рассеяния диаграммы направленности на шумовую температуру антенны. Следовательно, при оптимизации коэффициентов использования апертуры антенны необходимо учитывать допустимые значения для коэффициента рассеяния.

Наиболее распространенным вариантом конструкции является двухзеркальная антенна, выполненная по схеме Кассегрена. Основные расчеты до сих пор наиболее полно выполнены для зеркал с отношением фокусного расстояния к

диаметру апертуры, превышающим 0,3. Отсутствуют критерии оптимальности величины этого отношения.

В данной главе также показана необходимость построения более точной математической модели двухзеркальной антенны с учетом формирования полей в зоне Френеля, что позволяет получить обоснованную методику расчета антенны при любых задаваемых критериях оптимизации.

Во второй главе проведено теоретическое исследование основных характеристик облучающей системы двухзеркальной антенны Кассегрена. В качестве первичного облучателя выбрана круглая апертура, в которой задано симметричное распределение поля линейной поляризации, при этом анализ был проведен для магнитной составляющей поля, представленной в виде:

$$\vec{H}_{00}(\rho', \varphi') = A(\rho') \vec{e}_x, \text{ где } A(\rho') = A_0 (1 - q\rho'^2) e^{-j\lambda\rho'^2},$$

$\rho' = \rho_1/b$, $2b$ - диаметр раскрытия апертуры облучателя, $0 \leq \rho' \leq 1$; A_0 , q , λ - константы, определяемые путем оптимизации характеристик излучения антенны.

Поскольку интерес представляла поляризационная структура полей, переотраженных малым и большим зеркалами, нами применялся вектор Герца $\vec{\Pi}$:

$$\vec{\Pi} = \frac{1}{j4\pi\epsilon_0} \iint_S [\vec{n} \times \vec{H}_{00}] \frac{e^{-jkR}}{R} ds,$$

где S - площадь апертуры облучателя.

Дальнейшие преобразования проводились с учетом того, что малое зеркало находится в зоне Френеля.

Решение рассматриваемой задачи получено в виде соотношений для амплитудно-фазового распределения магнитного поля

вблизи поверхности малого зеркала:

$$\bar{H}(r_0, \theta, \varphi) = \frac{e^{-jk r_0}}{r_0} (H_{\theta} \hat{\theta}_0 - H_{\varphi} \hat{\varphi}_0), \quad (I)$$

$$\text{где } H_{\theta} = \left[h_0 \int_0^1 J_0(u\rho) e^{-jh_2 \rho^2} * \rho d\rho - (h_0 q + j \frac{h_1}{r_0}) \int_0^1 J_0(u\rho) e^{-jh_2 \rho^2} * \rho^3 d\rho + j \frac{h_1}{r_0} q \int_0^1 J_0(u\rho) e^{-jh_2 \rho^2} * \rho^5 d\rho \right] \cos \varphi,$$

$$H_{\varphi} = \left[h_0 \int_0^1 J_0(u\rho) e^{-jh_2 \rho^2} * \rho d\rho - (h_0 q + j \frac{h_1}{r_0}) \int_0^1 J_0(u\rho) e^{-jh_2 \rho^2} * \rho^3 d\rho + j \frac{h_1}{r_0} q \int_0^1 J_0(u\rho) e^{-jh_2 \rho^2} * \rho^5 d\rho + h_3 \int_0^1 J_1(u\rho) e^{-jh_2 \rho^2} * \rho^2 d\rho - h_3 q \int_0^1 J_1(u\rho) e^{-jh_2 \rho^2} * \rho^4 d\rho \right] \cos \theta \sin \varphi,$$

$$+ j \frac{h_1}{r_0} q \int_0^1 J_0(u\rho) e^{-jh_2 \rho^2} * \rho^5 d\rho + h_3 \int_0^1 J_1(u\rho) e^{-jh_2 \rho^2} * \rho^2 d\rho - h_3 q \int_0^1 J_1(u\rho) e^{-jh_2 \rho^2} * \rho^4 d\rho \right] \cos \theta \sin \varphi,$$

$$+ j \frac{h_1}{r_0} q \int_0^1 J_0(u\rho) e^{-jh_2 \rho^2} * \rho^5 d\rho + h_3 \int_0^1 J_1(u\rho) e^{-jh_2 \rho^2} * \rho^2 d\rho - h_3 q \int_0^1 J_1(u\rho) e^{-jh_2 \rho^2} * \rho^4 d\rho \right] \cos \theta \sin \varphi,$$

$$- h_3 q \int_0^1 J_1(u\rho) e^{-jh_2 \rho^2} * \rho^4 d\rho \right] \cos \theta \sin \varphi,$$

$$h_0 = \frac{jk r_0 + 1}{r_0}, \quad h_1 = \frac{kb^2}{2r_0}, \quad h_2 = \frac{kb^2}{2r_0} + \epsilon, \quad h_3 = \frac{kb}{r_0} \sin \theta.$$

ϵ - амплитудный коэффициент, r_0 - расстояние от центра апертуры облучателя до текущей точки на малом зеркале, $J_n(x)$ - функции Бесселя n -го рода.

Соотношение (I), позволяет провести анализ H_{θ} и H_{φ} на поверхности малого зеркала любой конфигурации на основе численных методов.

По составленному алгоритму и программе было проведено исследование зависимости характера расщепления H_{θ} и H_{φ}

вблизи поверхности малого зеркала как от геометрических параметров облучающей системы, так и от параметров амплитудно-фазового распределения в апертуре облучателя.

Некоторые результаты расчетов представлены на рис. 1-5, где изображены зависимости амплитуды $|H_\theta|$ и фазы Φ_θ поля в зависимости от нормированной величины угла θ между фокальной осью основного зеркала и направлением из центра апертуры облучателя на точку поверхности малого зеркала, отнесенной к своему максимальному значению θ_m для различных значений эксцентриситета e , диаметра апертуры облучателя и видов амплитудно-фазового распределения в ней, зависящих от q и λ .

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

1) при радиусе апертуры облучателя $b \approx \lambda$, изменение эксцентриситета e в пределах значений от 1,3 и до 1,6 не приводит к существенному изменению амплитудного распределения у поверхности малого зеркала; аналогичная картина наблюдается и для фазового распределения $\Phi_\theta(\theta)$, при этом наблюдается сферический характер фазового фронта отраженной волны от малого зеркала;

2) при увеличении b до 2λ происходит трансформация в распределении амплитуды поля в отраженной волне, при этом с увеличением эксцентриситета амплитуда поля на краю резко убывает, а характер изменения фазового фронта подобен сферическому только с изменяющимся радиусом кривизмы.

3) особый интерес представляет распределения для $|H_\theta|$ Φ_θ для $b = 3\lambda$. Здесь характер изменения $|H_\theta|$ для малых значений эксцентриситета подобен вышеописанным случаям, однако, при $e > 1,4$ происходит перераспределение амплитуды поля на малом

Амплитудно-фазовое распределение поля вблизи
поверхности малого зеркала

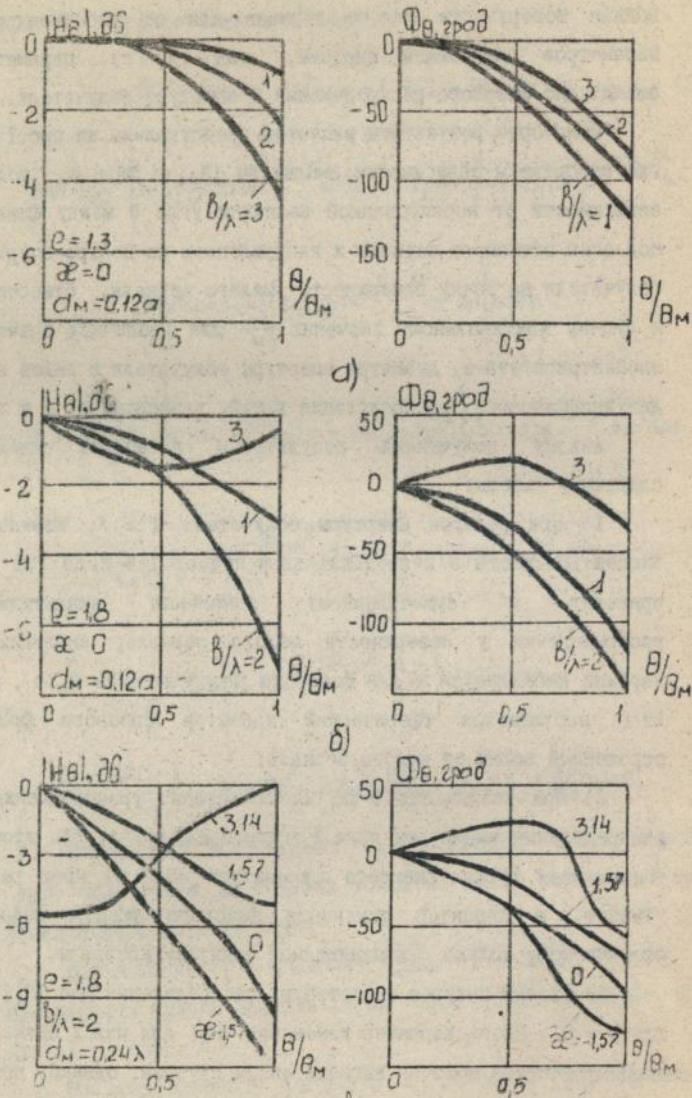


рис. I

зеркале таким образом, что при более резком спаде в центральной части зеркала, происходит увеличение амплитуды на краю зеркала, а при $e = 1,5$ происходит выравнивание амплитуды поля; особый интерес представляет распределение фазы Φ_0 , которое приближается к равномерному в центральной части зеркала и спадает к его краю.

Таким образом, представленные результаты показывают, сколь велика роль эксцентриситета малого зеркала и размера апертуры облучателя.

Представленные результаты для Φ_0 также показывают, что с увеличением диаметра малого зеркала на его поверхности проявляется зонная структура Френеля, число зон которой пропорционально величине диаметра малого зеркала.

Практический интерес представляет возможность изменения параметра x , позволяющее сфокусировать антенную систему в целом.

Также выведены формулы для расчета поля вблизи поверхности основного зеркала. При этом считалось, что произвольная точка наблюдения также находится в зоне Френеля. Формулы для амплитудно-фазового распределения поля вблизи поверхности большого зеркала представлены в виде:

$$\vec{H}(R, \theta_1, \varphi_1) = H_{\theta_1} \vec{e}_1 - H_{\varphi_1} \vec{e}_1, \text{ где} \quad (2)$$

$$H_{\theta_1} = A_{\Sigma} \frac{\omega k}{\mu_0} \frac{e^{-jkR}}{R} \left\{ \int_0^{\theta_k} H_{\varphi}(\theta) \sin\left(\frac{\theta + \Delta\theta}{2}\right) L(\theta) \sin\theta_2 e^{-jkC(\theta, \theta_1)} \frac{C(\theta)}{R} d\theta \right.$$

$$\begin{aligned}
 & \left. \cdot Y_1(\theta, \theta_1) d\theta - \int_0^{\theta_K} H_\theta(\theta) \cos\left(\frac{\theta + \Delta\theta}{2}\right) L(\theta) e^{-jkR(\theta, \theta_1)} \cdot Y_2(\theta, \theta_1) d\theta \right\}, \\
 H_{\varphi_1} &= 2A \frac{jk}{2\pi R} \frac{e^{-jkr}}{R} \left\{ \int_0^{\theta_K} H_\varphi(\theta) \cos\left(\frac{\theta + \Delta\theta}{2}\right) L(\theta) e^{-jkR(\theta, \theta_1)} \cdot Y_3(\theta, \theta_1) d\theta + \right. \\
 & + \int_0^{\theta_K} H_\varphi(\theta) \sin\left(\frac{\theta + \Delta\theta}{2}\right) L(\theta) \frac{\rho(\theta)}{R} \sin\theta_1 \cos\theta_2 e^{-jkR(\theta, \theta_1)} \cdot Y_3(\theta, \theta_1) d\theta - \\
 & \left. - \int_0^{\theta_K} H_\varphi(\theta) \sin\left(\frac{\theta + \Delta\theta}{2}\right) L(\theta) \frac{\rho(\theta)}{R} \sin\theta_2 \cos\theta_1 e^{-jkR(\theta, \theta_1)} \cdot Y_4(\theta, \theta_1) d\theta \right\}, \\
 Y_1(\theta, \theta_1) &= \int_0^{2\pi} Z(\varphi - \varphi_1) \sin(\varphi - \varphi_1) \sin(\varphi) d\varphi, \quad Y_2(\theta, \theta_1) = \int_0^{2\pi} Z(\varphi - \varphi_1) \cos\varphi d\varphi, \\
 Y_3(\theta, \theta_1) &= \int_0^{2\pi} Z(\varphi - \varphi_1) \sin\varphi d\varphi, \quad Y_4(\theta, \theta_1) = \int_0^{2\pi} Z(\varphi - \varphi_1) \cos(\varphi - \varphi_1) \sin(\varphi) d\varphi, \\
 z(\varphi - \varphi_1) &= \exp[-jk(A(\theta, \theta_1) \cos(\varphi - \varphi_1) + B(\theta, \theta_1) \cos^2(\varphi - \varphi_1))].
 \end{aligned}$$

В третьей главе определены составляющие электрического поля в апертуре большого зеркала и затем, на основе апертурного метода найдено поле излучения антенной системы.

Проведен анализ поляризационной структуры и расчет амплитудно-фазового распределения электрического поля в апертуре большого зеркала в зависимости от геометрических параметров облучающей системы и амплитудно-фазового распределения поля в апертуре первичного облучателя.

Некоторые результаты расчетов представлены на рис. 2, где изображены зависимости амплитуды $|E_y|$ и фазы Φ_y (см. рис. 2а,б) поля основной поляризации, а также амплитуды $|E_x|$ и фазы Φ_x (см. рис. 2в) кроссполаризационной составляющей поля в зависимости от нормированной величины радиуса ρ_0 , проведенного из центра апертуры в направлении ее края к радиусу апертуры а большого зеркала для различных сечений полярного угла φ_0 , для различных значений эксцентриситета e , диаметра апертуры облучателя b и видов амплитудно-фазового распределения в нем, зависящих от q и λ .

Анализ данных результатов показывает, что существенное влияние на распределения $|E_y|$ Φ_y оказывает эксцентриситет малого зеркала. Увеличение e приводит к более быстрому спаду $|E_y|$ к краю апертуры большого зеркала, при этом спадание более быстрое при увеличении апертуры облучателя.

Анализ фазового распределения Φ_y показал, что на большом зеркале происходит выравнивание фазы поля, но имеет место ее искажения достигающие максимального значения в центре апертуры, при увеличении диаметра малого зеркала наблюдается спад $|E_y|$ в центре апертуры большого зеркала, при этом характер фазовых искажений изменяется.

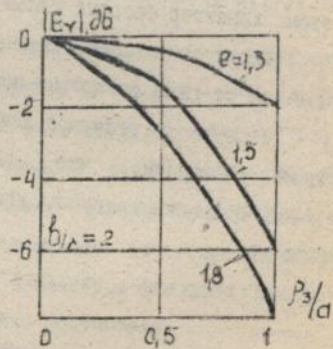
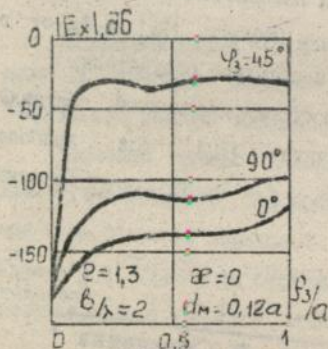
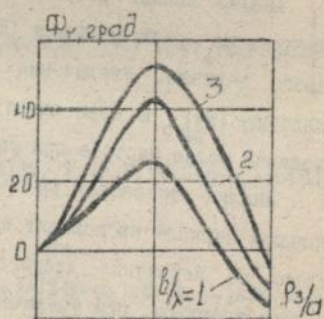
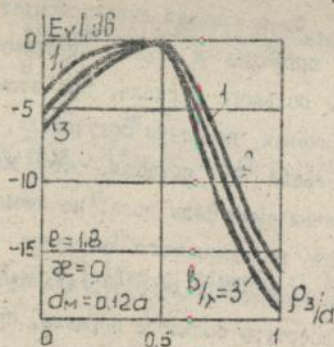
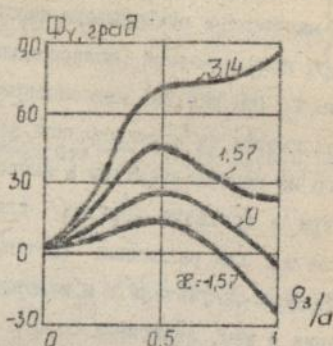
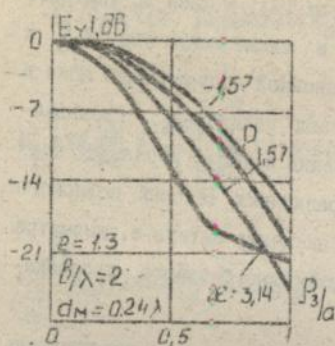
Имеет место существенная зависимость $|E_y|$ и Φ_y от x , т.е. от степени фазировки поля в апертуре облучателя.

Результаты расчетов для кроссполаризационной составляющей показали, что величина $|E_x|$ для наиболее неблагоприятного сечения при $\varphi_0 = \pi/4$ не превышает величины -26 дБ.

Приведенные результаты расчета показали, сколь существенна зависимость амплитудно-фазового распределения

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

Амплитудно-фазовое распределение поля
в апертуре большого зеркала



b)

рис. 2

поля в апертуре большого зеркала от геометрических параметров облучающей системы, а также от распределения поля в апертуре облучателя, при этом важную роль играет фазовая структура, определяемая параметром α . Сравнение полученных результатов для $|E_y|$ и Φ_y с результатами расчета распределения поля (см. рис. 2г) по методу эквивалентной параболы показало, что имеется существенное различие в амплитудном распределении, при этом имеет место фазовые искажения Φ_y , которые отсутствуют в традиционных методах расчета характеристик двухзеркальных антенн.

Исследование характера распределения $|E_y|$ и Φ_y от параметров облучающей системы позволяет провести в дальнейшем оптимизацию характеристик любых двухзеркальных антенн.

В четвертой главе обоснована методика экспериментальных исследований характеристик излучения двухзеркальных антенн, сформулированы требования к измерительному комплексу.

При аттестации измерительного комплекса установлено, что выбранная схема измерительного приемника позволила получить следующие характеристики: динамический диапазон 50 дБ, чувствительность не менее 10^{-9} Вт, погрешность амплитудных измерений не более 5%.

Приведены результаты измерений основных характеристик излучения изготовленных макетов одно- и двухзеркальной антенны диаметром 1,09 м. с фокусным расстоянием большого зеркала $F=0,495$ м.

Установлено, что основные экспериментальные закономерности изменения характеристик излучения антенны от параметров облучающей системы подтверждают результаты теоретических исследований.

Получены следующие экспериментальные результаты:

- оптимальное место положения облучателя соответствует размещению его фазового центра на расстоянии 4λ от вершины малого зеркала с параметрами $e=1,6$, $f=2\lambda$;
- уровень бокового излучения при этом не превышает значения -29 дБ;
- ширина диаграммы направленности по уровню половинной мощности - не более 2° как в Е-, так и в Н-плоскостях;
- уровень кроссполаризационного излучения - не более -30 дБ.

В приложениях I - II представлены программы расчета амплитудно-фазового распределения поля вблизи поверхности малого зеркала и поляризационной структуры поля в апертуре большого зеркала.

В приложении III приведены акты внедрения результатов диссертационной работы.

Основные результаты и выводы.

1. Разработан метод расчета двухзеркальной антенны Кассегрена на основе геометрикооптического приближения, позволяющий улучшить характеристики излучения путем оптимизации амплитудно-фазового распределения поля вблизи поверхности малого зеркала.

2. Получены формулы для расчета амплитудно-фазового распределения поля вблизи поверхности малого и большого зеркал, поляризационной структуры поля в апертуре большого зеркала и поля излучения двухзеркальной антенны Кассегрена.

3. Проведены теоретическое и экспериментальное исследования зависимости амплитудно-фазового распределения поля вблизи поверхности малого зеркала, поляризационной

структуры поля в апертуре большого зеркала от геометрических параметров облучающей системы, а также от амплитудно-фазового распределения в апертуре первичного облучателя.

4. Разработан пакет прикладных программ, позволяющий рассчитывать амплитудно-фазовое распределение поля вблизи поверхности малого зеркала и поляризационную структуру поля в апертуре большого зеркала.

5. Разработана методика и проведены экспериментальные исследования характеристик излучения двухзеркальной антенны.

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1) применение метода геометрикооптического приближения позволяет представить динамику изменения амплитудно-фазового распределения поля в апертуре основного зеркала с учетом всех геометрических и электрических характеристик облучающей системы;

2) полученные результаты позволят провести оптимизацию геометрических параметров двухзеркальной системы по любому параметру характеристики излучения:

- уровню бокового излучения и ширине главного лепестка диаграммы направленности,
- значению коэффициента использования поверхности апертуры основного зеркала,
- значению коэффициента рассеяния двухзеркальной антенны с заданным значением диаметра и его фокусным расстоянием.

Эффективность полученных результатов численных расчетов позволяет реализовать различные способы компоновки

дифракционных искажений амплитудно-фазового распределения в апертуре большого зеркала, основными из которых являются следующие:

- перемещение облучателя вдоль фокальной оси, которое позволит компенсировать возникающие квадратичные фазовые ошибки в ближней зоне малого зеркала;

- формирование соответствующей фазовой диаграммы облучателя за счет введения квадратичного набега фазы поля в апертуре облучателя (выбор значений x);

- выбор геометрических параметров малого зеркала, главными из которых является его эксцентриситет и диаметр.

Таким образом, наряду с оптимизацией облучающей системы двухзеркальной антенны для получения наибольшей величины коэффициента использования поверхности апертуры антенны представляет также практический интерес выбрать параметры малого зеркала такими, чтобы максимальной была величина отношения КИП к коэффициенту рассеяния, что позволяет оптимизировать отношение сигнал/шум, особенно значимое для спутниковых систем связи.

Содержание диссертации отражено в следующих работах автора:

1. Лоскова Л.М., Минарева Н.М., Ступаков Г.В. Метод статистической оценки поля излучения антенны, расположенной вблизи морской поверхности // Рассеяние электромагнитных волн.- Сб. тр. Таганрогского государственного радиотехнического ун-та.- 1994.- вып.10 с.73-77.

2. Авторское свидетельство N 1709443A1 СССР МКИ H 01 Q 13/10. Щелевая кольцевая антенна/ Лоскова Л.М., Михайлик В.П., Ступаков Г.В., и др.- N4781328/09; Заявлено 11.01 90;

Опубл. 30.01.92, Бюл.№4-4с.

3. Лобкова Л.М., Ступаков Г.В.и др. Анализ распределения поля на поверхности малого зеркала системы Кассегрена / Севастоп. гос. тех. ун-т.- Севастополь, 1995.- Деп. в ГИТБ Украины 16.06.95.- 18 с. №1535. Ук.95.

4. Лобкова Л.М., Ступаков Г.В. Система Кассегрена на основе малого зеркала плоской формы / Севастоп. гос. тех. ун-т. - Севастополь, 1995. Деп. в ГИТБ Украины 16.06.95.- 18 с. №1533. Ук.95.

5. Михайлюк В.П., Бадалов А.Г., Ступаков Г.В. Особенности построения автоматизированных измерительных комплексов для исследования характеристик излучения слабонаправленных широкодиапазонных антенн / Тез. докл. Всесоюзной НТК ФАР и их элементы.- Казань, 1990.- с.136.

6. Лобкова Л.М., Шекатурин А.А., Ступаков Г.В. Метод анализа характеристик излучения кольцевого многощелевого элемента для конформной ФАР / Тез. докл. Всесоюзной НТК ФАР и их элементы.- Казань, 1990.- с.42.

7. Лобкова Л.М., Михайлюк В.П., Ступаков Г.В. Оценка неравномерности диаграмм направленности антенн / Сб.науч.тр. 3-й МНТК Методы и средства измерений в области электромагнитной совместимости.- Выпуща, 1991.- с.123.

8. Лобкова Л.М., Ступаков Г.В. и д.р. Излучающий элемент широкодиапазонной антенной решетки мачтового типа/ Тез. докл. МНТК Сложные антенные системы и их компоненты.- Ленинград, 1991 - с.23.

9. Лобкова Л.М., Ступаков Г.В. и др. Способ построения широкодиапазонной антенной системы/Сб.тр.НТК Современные методы и устройства радиотехнических систем.- Полтава, 1993.-с.77.

10. Лобкова Л.М., Савочкин А.А., Ступаков Г.В. Оптимизация параметров двухзеркальных антенн для морских каналов связи / Докл. на Нац. ассоц. "Антенны", Харьков 6-7 декабря 1994, Украина.

11. Лобкова Л.М., Савочкин А.А., Ступаков Г.В. Особенности распределения поля на поверхности малого зеркала двухзеркальных антенн / Сб. матер. V Крымской конф. СВЧ техника и спутниковые телекоммуникационные технологии. Севастополь, 1995. - с.70.

12. Лобкова Л.М., Савочкин А.А., Ступаков Г.В. Метод геометрикооптического приближения при решении задач оптимизации характеристик излучения двухзеркальных антенн / Сб. тр. МКТА. - Харьков, 1995. - с. .

АННОТАЦІЯ

Вирішена проблема оптимізації параметрів двохзеркальної антени Касегрена з застосуванням геометрикооптичного наближення, що описує всю сукупність особливостей формування поля випромінювання антенної системи. Приведені підсумки чисельних розрахунків та експериментальних досліджень.

THE SUMMARY

Is resolved the problem parameter optimization of dual-reflector Cassegrain antenna with using of geometrical-optical approximation, described all set of features forming by arial of system. Showed results of numerical culculations and experiences.

Ав 33.664
АВ 33.664

Зак. 84. Типографія „Флот України“
Тираж 100.