

На правах рукописи

РГБ ОД
22 ДЕК 2000

Астахов Андрей Витальевич

УДК 621.396.67

АНТЕННЫ И ЭКРАНЫ ПРИЕМНИКОВ СИСТЕМЫ СПУТНИКОВОЙ
ГЕОДЕЗИИ И НАВИГАЦИИ

Специальность: 05.12.21 – “Радиотехнические системы специального назначения, включая технику СВЧ и технологию их производства”.

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

МОСКВА - 2000

Работа выполнена в Московском Государственном авиационном институте
(техническом университете)

Научный руководитель - кандидат технических наук,
доцент Татарников Д.В.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Каплун В. А.
кандидат технических наук
Старостенко Б. А

Ведущая организация - Всероссийский научно-исследовательский
институт радиотехники (ВНИИРТ).

Защита состоится “___” _____ 2000 г. (_____) в _____ ча
сов на заседании диссертационного совета ССК 053.04.03 в Московском
Государственном авиационном институте.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МАИ.

Отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенных печатью, просим на
правлять по адресу:

125871, ГСП, Москва, Волоколамское шоссе, д. 4. Ученый совет МАИ. Уче
ному секретарю диссертационного совета ССК 053.04.03

Автореферат разослан “___” _____ 2000г.

Ученый секретарь
диссертационного совета, доцент,
кандидат технических наук



Сычев М.И.

0641.5-53-04.0 + ДИЗ.8 С 0,0

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации

В настоящее время в задачах геодезии и навигации широкое применение находят спутниковые радионавигационные системы, такие как российская ГЛОНАСС и американская GPS (NAVSTAR).

Система представляет набор спутников и приемник, включающий в себя антенну. Определение местоположения цели происходит за счет измерения дальности до каждого видимого спутника. Система фазовая: определение дальности осуществляется за счет измерения фазы принятого сигнала. Имеющиеся системы двухчастотные: точные измерения осуществляются путем приема сигналов на частотах 1565-1620 МГц (диапазон L1) и 1217-1260 МГц (диапазон L2). Диапазон L2 является вспомогательным: возможны измерения при приеме сигнала только в диапазоне L1. Работа осуществляется с помощью сигнала круговой поляризации.

Точность работы системы во многом определяется характеристиками антенны приемника. К антенне приемника предъявляются следующие требования:

- 1) Обеспечение равномерной амплитудной и фазовой ДН круговой поляризации в передней полусфере (для приема сигналов от спутников, располагающихся как вблизи зенита, так под углами, близкими к горизонту).
- 2) Подавление сигнала, отраженного от земли и от других объектов, так как этот сигнал, складываясь с прямым сигналом дает дополнительную фазовую погрешность (ошибка многолучевости).
- 3) Низкий уровень потерь в антенне.
- 3) Малые габаритные размеры. Приемник должен быть носимым.
- 4) Малая стоимость.
- 5) Возможность размещения в полостях антенной системы радиоэлектронной аппаратуры.

Особое внимание следует обратить на требование уменьшения ошибки многолучевости, так как именно эта ошибка становится преобладающей при дифференциальном режиме местоопределения (при котором определяется разность координат между мобильным и базовым приемниками).

Отметим так же, что с учетом ограниченности геометрических размеров антенны (порядка 1.5λ - 2λ), требования расширения ДН в передней

полусфере и уменьшения уровня ДН в задней полусфере (уменьшение ошибки многолучевости) являются взаимоисключающими.

При проектировании антенны приемника спутниковой навигации приходится анализировать конструкции в виде совокупности проводников и диэлектриков, занимающих область пространства с характерными размерами порядка 2λ . Так как экспериментальная отработка таких устройств часто оказывается дорогостоящей и требует длительного времени, то без точного математического моделирования проектирование антенн системы спутниковой навигации оказывается затруднительным и малоэффективным.

В настоящее время развит ряд методов численного анализа излучающих структур в приближении гармонического сигнала. Такие методы как метод моментов, реализованы в коммерчески доступных специализированных пакетах программ: MICROWAVE OFFICE, IE3D и др. Однако, в большинстве случаев используется ряд предположений, сильно сужающих круг решаемых задач. К числу предположений обычно относятся: наличие модели бесконечного плоского идеально проводящего экрана и (или) бесконечной диэлектрической подложки, ограничения на число слоев диэлектрика и их конфигурацию и т.п. Между тем, на диаграммы направленности антенн, предназначенных для работы в системах навигации и позиционирования, как уже было выше отмечено, накладываются весьма определенные требования в полном секторе углов 4π стерадиан. Модели, использующие перечисленные выше предположения, оказываются малоприменимыми.

Задачу точного анализа металлодиэлектрических конструкций произвольной конфигурации без каких либо принципиальных ограничений можно решить с помощью ныне развитых методов объемных интегральных уравнений (метод моментов) и метода конечных разностей во временной области (Fine Difference Time Domain, или FDTD). Оба этих метода предполагают дискретизацию в пространственной области, таким образом при наличии диэлектриков, когда требуется описывать токи поляризации, размерность задачи растет по кубическому закону. Также для увеличения точности моделирования требуется наращивать дискретизацию, это приводит к увеличению обусловленности матрицы и для ее обращения требуется дополнительное машинное время. Время, необходимое для анализа конструкции с учетом всех мелких подробностей очень велико. Поэтому в реальной инженерной практике применение таких методов приводит к большим затратам времени и ресурсов, а достичь требуемую точность, вследствие невозможности учесть все подробности конструкции, не удастся.

Наряду с этим, в реальной инженерной практике возникает потребность в эффективных численных моделях, не требующих больших вычисли-

тельных ресурсов, но позволяющих быстро оценивать разнообразные конструкции. Таким образом, проблема анализа широкого класса излучающих структур, содержащих разнородные материалы, в целом сохраняется.

В настоящее время в отечественной литературе широко развит декомпозиционный подход к задачам электродинамики, в частности методы МАБ, МЧО. Они как правило применяются к неизлучающим конструкциям. В то же время принцип декомпозиции кажется достаточно удобным для анализа конструкций, которые содержат диэлектрические компоненты конечных размеров, так как при этом не требуется вычислять распределенные в объеме токи поляризации и размерность задачи существенно снижается.

Применяющиеся в данный момент антенные системы представляют излучатель, расположенный на экране. Экран служит для уменьшения многолучевости и он как правило определяет массо-габаритные показатели антенной системы.

Так в задачах точной геодезии, применяется экран, выпускаемый фирмой JPL. Это аксиально-однородная структура с набором вертикальных ребер, расположенных на плоском основании (рис. 3). Высота ребер такого экрана выбирается вблизи $\lambda/4$ диапазона L2. Экран широкополосный, но в диапазоне L1 настроен не оптимально. Этот экран имеет большие геометрические размеры (360мм) и заметную массу (около 4кг).

В литературе описаны модификации такого экрана. В частности предлагается ребра располагать не на прямолинейном основании, а на основании в виде конуса, и при этом плавно менять высоту ребер с целью достижения широкополосности экрана. Но существенным недостатком такой конструкции является большие габаритные размеры.

Помимо массо-габаритных показателей недостатком перечисленных выше экранов является их конструктивная сложность.

Находит применение плоский экран. Однако, он при реальных геометрических размерах не обеспечивает требуемого подавления многолучевости.

Известен плоский экран на основе резистивных материалов. Он представляет набор колец из диэлектрического материала с потерями, причем $\tan \Delta$ вдоль плоскости экрана распределен по определенному закону. Такая конструкция привлекает малыми поперечными размерами экрана (он получается плоским). Но антенная система с таким экраном заведомо будет проигрывать в усилении (в следствии неизбежных потерь в экране).

Таким образом, из сказанного выше видно, что имеющиеся конструкции экранов обладают большими массо-габаритными показателями, и

задача уменьшения габаритов экрана при сохранении его электродинамических свойств остается актуальной.

В настоящее время широко применяются микрополосковые излучатели на диэлектрической подложке. Но такие антенны как правило узкополосные, а диэлектрики со стабильной диэлектрической проницаемостью дорогие. Известны гребенчатые периодические замедляющие структуры, но у них при уменьшении высоты ребер гребенки замедление стремится к 1. Подложка МПА имеет размеры порядка 0.05λ , при таких размерах классическая гребенчатая замедляющая структура обеспечивает незначительное замедление. Таким образом, создание искусственной диэлектрической подложки МПА на основе металлических компонентов является актуальной задачей.

Выше отмечалось, что одним из существенных требований к антенным приемникам спутниковой геодезии является расширение ДН. Также эта задача актуальна для пользователей системы OMNISTAR, транслирующей геодезические поправки. Сигнал передается со спутника, расположенного на геостационарной орбите. Таким образом, для потребителей этой системы, которые находятся близко к полюсам земного шара, этот спутник виден под низкими углами, близкими к горизонту (в частности в широтах Москвы этот спутник виден под углом приблизительно 20° от горизонта). Чтобы иметь возможность работы с этой системой на любых широтах земного шара требуется равномерная ДН в передней полусфере.

С целью расширения ДН как правило используют МПА с уменьшенным размером экрана. В частности по такому принципу создана антенна SKAYWAVE (она принимает сигналы систем GPS и OMNISTAR). К сожалению, при уменьшении размера экрана, МПА становится узкополосной и увеличивается уровень излучения в заднюю полусферу. Поэтому актуальна задача расширения ДН низкопрофильных излучателей путем использования альтернативных методов (в частности путем возбуждения нескольких резонансов).

Родственной к данной задаче является исследование влияния размера и формы экрана МПА на диэлектрической подложке на ДН. Сильно влияние на азимутальную ДН оказывает форма экрана. В частности актуальность имеет создание совмещенной антенны, принимающей сигналы OMNISTAR (1530 МГц) и BEACON (400 кГц) систем. Так как BEACON система работает на длинных волнах, ее антенна представляет набор катушек на ферритовых сердечниках, расположенных на фарадеевом экране, предназначенном для устранения паразитной поляризации электрического поля параллельного линии катушки. Этот экран представляет набор прямолиней

ных полосок, расположенных сверху и снизу катушек и соединенных с экраном OMNISTAR излучателя. Для OMNISTAR-антенны, выполняемой в виде микрополоскового излучателя на диэлектрической подложке, фарадеев экран является частью ее экрана и оказывает существенное влияние на форму азимутальной ДН. Поэтому представляет интерес исследование влияния прямолинейных металлических элементов, соединенных с экраном излучателя, на азимутальную ДН.

С учетом вышесказанного можно сформулировать основные цели и задачи работы:

Цель и задачи работы

Целью диссертационной работы является разработка эффективных методов анализа и проведение исследований новых типов экранов и антенн приемников систем спутниковой навигации GPS и GLONASS, позволяющих более эффективно решать целевую задачу и имеющих меньшие массогабаритные параметры и стоимость. В соответствии с поставленной целью в ходе диссертации решаются следующие задачи:

1. Разработка математической модели слабонаправленных металлодиэлектрических излучающих конструкций произвольной геометрии, позволяющей анализировать ДН в полном секторе углов.
2. Численное и экспериментальное исследование экранов для подавления эффекта многолучевости, имеющих малые массогабаритные показатели.
3. Исследование возможности создания микрополоскового излучателя на подложке из искусственного диэлектрика.
4. Исследование возможности расширения ДН микрополоскового излучателя в передней полусфере за счет возбуждения двух резонансов.
5. Исследование влияния размера и формы экрана микрополоскового излучателя на диэлектрической подложке на ширину меридиональной и равномерность азимутальной ДН.

Методы исследования

В работе использовались вычислительные методы электродинамики, в частности, метод частичных областей, методы теории функций комплексного переменного, методы линейной алгебры. Также большое внимание уделено натурному эксперименту.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- На основе декомпозиционного подхода разработан эффективный численный алгоритм анализа слабонаправленных металлодиэлектрических излучающих конструкций произвольной геометрии, позволяющий вычислять ДН в полном секторе углов.

- Проанализирован новый класс экранов, предназначенных для уменьшения ошибки многолучевости.

- Исследована возможность создания микрополоскового излучателя на подложке из искусственного диэлектрика.

- Показана возможность расширения ДН микрополоскового излучателя за счет использования пассивных резонаторов.

- Исследовано влияние размеров и формы экрана пластинчатого излучателя на ДН

Практическая ценность результатов работы

Математическая модель, разработанная в ходе диссертационной работы, при наличии в анализируемой конструкции диэлектрических компонентов, позволяет существенно снизить вычислительные затраты (по сравнению с традиционными методами, например, с методом моментов).

Использование горизонтального расположения ребер позволяет существенно уменьшить габаритные размеры экрана, по сравнению с традиционным (вертикальным) расположением ребер, при сохранении хорошего подавления многолучевости.

Использование искусственной диэлектрической подложки позволяет уменьшить стоимость антенны, а также делает возможным применение антенны в открытом космосе.

Результаты диссертационной работы были использованы при проектировании , что подтверждается актом о внедрении.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Разработан численный алгоритм и пакет программ для анализа конструкций, содержащих проводники и диэлектрики с общим характерным размером 2λ .
2. Проанализирован класс экранов с горизонтальными ребрами, служащих для оптимизации отношения Down/Up. Показано, что такие конструкции обладают сопоставимым качеством с известными при существенно меньших габаритах.
3. Показано, что пластинчатый излучатель на подложке в виде гребенчатой структуры с глубиной пазов порядка 0.01λ работает в целом анало-

гично излучателю на диэлектрической подложке, в частности достигается значение $\varepsilon_{эфф}$ порядка 2.

4. Исследованы конструкции печатных антенн с расширенной ДН за счет использования пассивных резонаторов.
5. Численно и экспериментально исследовано влияние размеров и формы экрана печатного излучателя на ДН

Публикации и апробации

Результаты работы были доложены на 3 конференциях, и опубликованы в 2 статьях.

Объем и структура работы

Диссертационная работа изложена на 154 листах машинописного текста, включая 73 листа иллюстраций. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 33 наименований, списка основных сокращений и обозначений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, проанализировано состояние проблемы, сформулирована цель работы, даны сведения о методах исследования, используемых в процессе работы над диссертацией. Представлены новые научные результаты, описана практическая ценность результатов работы и результаты внедрения их в производство, а также сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе рассматривается подход к решению этой задачи, базирующийся на методе декомпозиции. Предполагается, что пространство разбито на области (блоки), характеризуемые дескриптором - СВЧ-матрицей - выражения для элементов которой в виде рядов, пригодных для суммирования на ЭВМ, могут быть получены без затруднений. Объединение блоков проводится по известным алгоритмам объединения матриц многополюсников. Используются многомодовые блоки с дескриптором в виде матрицы проводимости. При этом виртуальными входами блока являются базисные функции магнитных токов в виде конечных элементов. Такой подход несколько облегчает процедуру описания конструкции так как позволяет минимизировать число блоков при сохранении гибкости в описании границ. Все пространство разбивается на

две области: внешнюю и внутреннюю, причем конфигурация границы выбирается так, чтобы матрица проводимости внешней области также могла быть легко вычислена.

Полное 3-х мерное моделирование при таком подходе все равно оказывается трудоемким и требует достаточно больших вычислительных затрат. Но, учитывая, что излучатель имеет, как правило, достаточно равномерную ДН в азимутальных плоскостях, а применяющиеся экраны, соответственно круговую геометрическую симметрию, то оказывается полезным двухмерное приближение, когда структура считается бесконечной и однородной вдоль линии, перпендикулярной к плоскости, в которой вычисляется ДН. Такой подход позволяет оценить меридиональную ДН в полном секторе 2π радиан (а соответственно эффективность подавления экраном уровня излучения в заднюю полусферу). В данной главе рассмотрена двумерная задача для Н-поляризации (вектор E имеет лишь составляющие в плоскости чертежа). Такое приближение позволяет получить ряд полезных с практической точки зрения результатов.

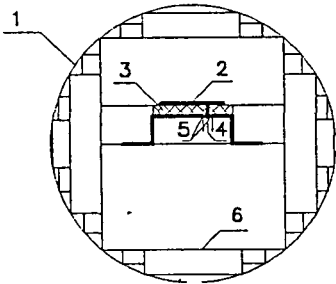


Рис. 1

Рассмотрим условный эскиз анализируемой конструкции (рис. 1). Здесь для примера изображен пластинчатый излучатель с диэлектрической подложкой 3, расположенный на экране сложной формы, и возбуждаемый штывером 4. Стороннее напряжение, приложенное между штывером и экраном, моделируется двумя сторонними магнитными токами 5). Путем введения виртуальной границы, представляющей окружность 1, охватывающую все элементы исследуемой конструкции 2, задача разбивается на внешнюю и внутреннюю.

Согласно теореме эквивалентности, непрерывность касательных составляющих электрического и магнитного полей на границе раздела внешней и внутренней областей обеспечивается введением эквивалентных магнитных токов \vec{j}^{m+} , \vec{j}^{m-} , текущих по упомянутой границе соответственно со стороны внешней и внутренней областей. Эти токи представляются путем разложения в кусочно-постоянный базис:

$$\vec{j}^{m-} = \sum_{\alpha} u_{\alpha}^{+} \vec{\psi}_{\alpha}^{+} \quad (1)$$

где u_{α}^{+} - амплитуды базисных функций $\vec{\psi}_{\alpha}^{+}$.

Условия непрерывности касательных составляющих электрического и магнитного полей можно записать в следующем виде:

$$\vec{j}^{m+} = -\vec{j}^{m-} \quad (2)$$

$$\vec{H}^+(\vec{j}^{m+}) = \vec{H}^-(\vec{j}^{m-}) + \vec{H}^-(\vec{j}^{cm}) \quad (3)$$

где \vec{H}^+, \vec{H}^- - магнитные поля, соответственно, во внешней и внутренней областях, \vec{j}^{cm} - поверхностная плотность сторонних токов, которую можно представить в виде разложения по базисным функциям с заданными амплитудами:

$$\vec{j}^{cm} = \sum_{\alpha_{cm}} u_{\alpha_{cm}}^+ \vec{\psi}_{\alpha_{cm}}^+ \quad (4)$$

Знак "-" в выражении (2) обусловлен противоположным направлением внешних нормалей к границе раздела со стороны внешней и внутренней областей.

Внутренняя область анализируется методом частичных областей. Для этого она разбивается на ряд прямоугольных областей (рис. 1.2), которые анализируются как прямоугольные резонаторы с идеально проводящими стенками. При этом граница раздела внешней и внутренней областей, которая имеет вид окружности, со стороны внутренней области аппроксимируется набором ступенек (рис. 1.2). На стенках резонаторов, не соприкасающихся с металлическими элементами конструкции излучателя, согласно теореме эквивалентности, вводятся эквивалентные магнитные токи, которые можно представить в виде разложения (1).

Матрица проводимости внутренней области получается как результат объединения матриц элементарных резонаторов по известному алгоритму объединения матриц проводимости.

Объединение внешней и внутренней областей производится путем определения неизвестных амплитуд базисных функций, с помощью которых представляется эквивалентный магнитный ток на границе раздела внешней и внутренней областей. Применяя к операторному уравнению (3) метод Бубнова-Галеркина, с учетом (2) и (1) нетрудно получить систему линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), которая в матричной форме имеет вид:

$$(\vec{Y}^+ + \vec{Y}^-) \cdot \vec{U} = \vec{I}_{cm} \quad (5)$$

где \vec{Y}^+, \vec{Y}^- - матрицы проводимости, соответственно, внешней и внутренней областей,

$$Y_{\alpha\beta} = \int_{l_\alpha} \bar{\psi}^*_\alpha H(\bar{\psi}_\beta) dl_\alpha \quad \left[\frac{1}{OM * M} \right] \quad (6),$$

\Rightarrow \vec{U} -вектор-столбец из неизвестных амплитуд, $\vec{I}_{см} \Rightarrow$ вектор-столбец эквивалентных сторонних токов, элементы которого определяются как:

$$I_{\alpha см} = \sum_{\beta см} Y_{\alpha\beta см} u_{\beta см} \quad (7)$$

где $Y_{\alpha см}$ - взаимная проводимость стороннего источника и тока базисн функции (1):

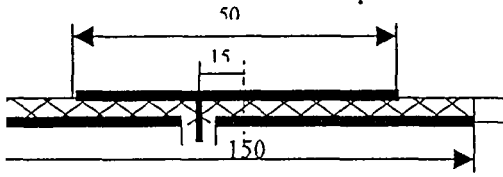
$$Y_{\alpha\beta см} = \int_{l_\alpha} \bar{\psi}^*_\alpha H^-(\bar{\psi}_{\beta см}) dl_\alpha \quad (8)$$

Определив эквивалентный магнитный ток на границе разде внешней и внутренней областей путем решения СЛАУ (5), нетруд вычислить диаграмму направленности анализируемого излучателя, при эт поле во внешней области описывается в виде набора цилиндрическ гармоник.

Далее в этой главе рассмотрен метод моделирования структур с б конечным экраном, который в виду простоты и быстроты вычислений о зывается полезным для приближенной оценки ряда конструкций

Также приводятся результаты численного исследования сходимос алгоритма. Показано, что для достижения сходимости размер базисн функции на границе раздела внешней и внутренней областей долж составлять 0.09λ (где λ - длина волны).

Приводится практический пример моделирова микрополоскового излучателя на диэлектрической подложке конечн размеров и сравнение результатов моделирования и эксперимента. Констр ция представляла собой квадратную пластинку со стороной 50мм (рис. расположенную на круглой подложке диаметром 150мм с относительно диэлектрической проницаемостью 4.5. Диаметр металлического экра равнялся диаметру подложки. Излучатель возбуждался штырем, отстоящ на 15мм от центра пластинки. Штырь подключался к коаксиальному кабе через разъем.



грамма направленности микрополоскового излучателя
1240-мГц

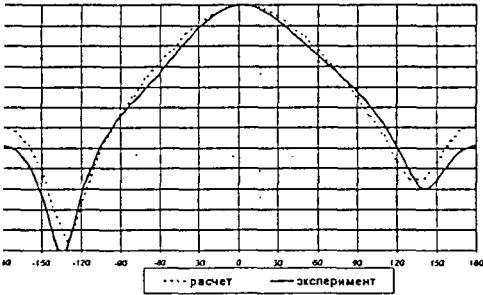


Рис. 2

На рис. 2 приведены экспериментальные и расчетные ДН в Е-плоскости на частоте 1240МГц.

Можно отметить, что двумерная модель в целом правильно передает характер ДН в полном секторе 2π радиан. Расхождения эксперимента с расчетом не превосходят 2 дБ в области заднего лепестка.

Во второй главе приведены результаты численного и экспериментального исследования экрана с горизонтальным расположением ребер (рис. 4). Конструкция такого экрана предложена

профессором д.т.н. В.С. Филипповым и этот раздел работы выполнен под его руководством. Такая конструкция экрана позволила достичь хорошего подавления многолучевости при габаритных размерах заметно меньших, чем у экрана, выполненного по стандартной схеме вертикального располо-

Экран с вертикальным расположением ребер

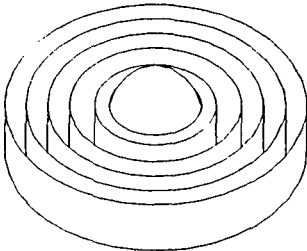


Рис. 3

Экран с горизонтальным расположением ребер

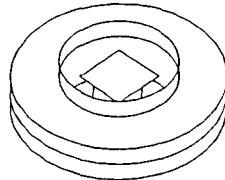


Рис. 4

жения ребер (рис. 3). Было установлено, что ребра экрана имеют резонансный размер, вблизи четверти длины волны, при котором обеспечивается максимальное подавление излучения в заднюю полусферу.

Исследование влияния числа ребер показало, что существенное влияние оказывают первые три ребра, а остальные оказываются в слабом поле, и не оказывают заметного влияния. Была проанализирована конструкция экрана у которого излучатель помещен в тубус. Установлено, что существует оптимальная высота тубуса (вблизи четверти длины волны на частоте L1 при которой ДН в передней полусфере максимально широкая, уровень излучения в области антинормали в диапазоне L1 минимален, а фазовые Д на частотах L1 и L2 наиболее равномерны. Был проведен анализ возможности создания двухчастотного экрана, путем введения ребер настроенных на частоту L1. Установлено, что размер таких ребер для оптимального подавления многолучевости на частоте L1 находится вблизи $\lambda/4$ (на частоте L1), наиболее эффективно влияет только одно ВЧ-ребро ребра, настроенные на частоту L1, целесообразно располагать под ребрами настроенными на частоту L2, так как в этом случае они не ухудшают характеристик экрана на частоте L2. Исследование расстояния между ребрами, настроенными на частоту L2, показало, что имеется оптимальное расстояние (20мм) при котором обеспечивается максимальное подавление излучения в области антинормали в максимально широкой полосе частот (на уровне 30 дБ).

По результатам моделирования и эксперимента был спроектирован экран, по характеристикам не уступающий всемирно применяющемуся при прецизионных измерениях экрану фирмы JPL, но имеющий заметно более малые размеры (270мм в диаметре против 360мм экрана фирмы JPL).

Был произведен численный анализ конструкции экрана в виде тубуса, под которым имеются рефлекторы в виде горизонтальных ребер. Показано, что при использовании пластинчатого излучателя на воздушной подложке имеется оптимальная высота тубуса, при которой обеспечивается наилучшее подавление излучения в заднюю полусферу. Этот размер находится вблизи 0.25λ . Исследование влияния числа рефлекторов показало, что существенно влияет только первый рефлектор, а остальные практически не оказывают влияния на ДН. Проведено исследование влияния числа возбуждаемых волноводных гармоник в тубусе на ДН экрана. Показано, что существенное влияние на подавление излучения в заднюю полусферу оказывает не только первая (докритическая гармоника, но и вторая (закритическая), причем для оптимального подавления многолучевости амплитудное распределение электрического поля в раскрытии тубуса должно иметь ярко выраженные максимумы у краев.

Структура микрополоскового излучателя с подложкой в виде гребенчатой структуры

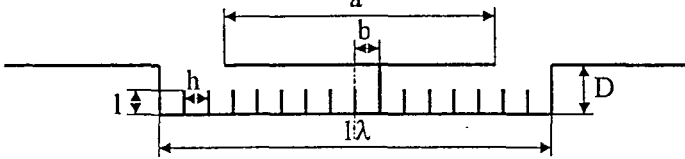


Рис. 5

подложкой в виде периодической гребенчатой структуры. Показано электродинамическое соответствие такой структуры с диэлектрической подложкой: уменьшение резонансного размера пластинки и выравнивание ДН излучателя в передней полусфере. Отмечено, что эффективная диэлектрическая проницаемость подложки зависит в основном от отношения высоты ребер гребенчатой структуры к высоте пластинки над экраном, причем при отношении $\frac{l}{D} = 0.8 \epsilon_{эфф}$ достигает значения 2. Отмечено увеличение $\epsilon_{эфф}$ при уменьшении расстояния между ребрами гребенки.

Также здесь приведены результаты численного и экспериментального исследования микрополоскового излучателя с к-з шлейфами. Отмечено, что такая структура имеет два резонанса, ДН на одном имеет максимум по нормали и минимумы по горизонту, а ДН другого имеет минимум по нормали и максимумы по горизонту. Меняя геометрические размеры структуры (имеет значение соотношение длин пластинки и к-з шлейфов), можно менять взаимное положение этих резонансов на частотной оси. Подбирая соотношение между амплитудами резонансов (путем выбора положения возбуждающего штыря) и взаимного расположения резонансов на частотной

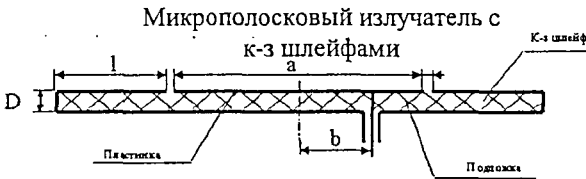


Рис. 6

оси (подбирая соотношение длин пластинки и к-з шлейфов) можно синтезировать ДН с минимальным перепадом в передней полусфере уровня излучаемой мощности (экспериментально удалось добиться перепада в 3.5дБ во всей полусфере). К сожалению ДН такого излучателя оказывается сильно частотно-зависимой.

В этой главе также приведены результаты численного исследования влияния геометрических размеров микрополоскового излучателя на ширину ДН. Проанализирован вариант микрополоскового излучателя на диэлектри-

В третьей главе приведены результаты численного и экспериментального исследования микрополоскового излучателя с

ческой подложке с $\epsilon=4$. Показано, что при увеличении размера экрана от 0.22λ до 0.4λ ДН в передней полусфере сужается, при дальнейшем увеличении размера экрана от 0.4λ до 1λ существенно не меняется, но происходит уменьшение уровня излучения в заднюю полусферу. При дальнейшем увеличении размера экрана (до 2λ) наблюдается расширение ДН в передней полусфере и возникает провал в области нормали.

Показано, при увеличении толщины подложки излучателя ширина ДН практически не меняется.

Приведены также результаты экспериментального исследования азимутальной неоднородности ДН в плоскости горизонта для различных форм экрана.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Таким образом, в ходе диссертационной работы разработан численный алгоритм и пакет программ для анализа в двухмерном приближении слабонаправленных металлодиэлектрических структур в полном секторе углов, а также выполнены исследования практически важных конструкций экранов и специальных типов антенн навигационных приемников.

В частности:

1. На основе метода декомпозиции в двумерном приближении разработана математическая модель для анализа излучающих конструкций, содержащих проводники и разнородные диэлектрики. Рассмотрены конструкции занимающие конечную область пространства, а также задачи бесконечным экраном. Численно исследована сходимость алгоритма. Показано, что расчетные результаты в целом правильно передают характер экспериментальных ДН для практически интересных конструкций.
2. Проведено численное и экспериментальное исследование экрана горизонтальным расположением ребер. Показано, что существует оптимальный размер ребер (вблизи $\lambda/4$), при котором обеспечивает лучшее подавление уровня излучения в заднюю полусферу, чем у плоского экрана. Показано, что расстояние между ребрами влияет на частотные характеристики. Численно исследован механизм формирования ДН в задней полусфере за счет интерференции полей 2 низших мод тубуса. В результате численных и экспериментальных исследований разработана конструкция экрана, по характеристикам не уступающего всемирно применяемому при прецизионных измерениях экрану фирмы JPL, имеющего заметно более малые размеры

3. Приведены результаты численного и экспериментального исследования конструкции микрополоскового излучателя с подложкой в виде периодической гребенчатой структуры с глубиной пазов порядка 0.01λ . Показано электродинамическое соответствие такой структуры с диэлектрической подложкой.

Приведены результаты численного и экспериментального исследования микрополоскового излучателя с к-з шлейфами. Показано, что за счет одновременного возбуждения двух (волнового и полуволнового) резонансов можно синтезировать ДН с минимальным перепадом (до 3.5 дБ) в передней полусфере уровня излучаемой мощности.

Приведены результаты численного исследования влияния геометрических размеров микрополоскового излучателя на ширину ДН, а также экспериментальные результаты исследования формы экрана на азимутальную ДН.

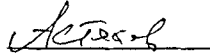
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

1. V.Filippov, D.Tatarnicov, J.Ashjei, I. Sutiagin, A. Astakov. The First Dual-Frequency Choke-Ring- Proceeding of the 11TH International Tecnicol Meeting of The Institute of The Satellite Division of The Institute of Navigation. ION GPS-98, September 15-18,1998, p.1035.
2. Астахов А.В., Татарников Д.В., Сутягин И.В., Филиппов В.С. "Создание нового поколения высокотехнологичных многофункциональных антенн на основе металло-диэлектрических излучающих структур". Отчет по теме ФМ026 (406-98-12) "Интегрированные радиоэлектронные системы нового поколения". МАИ,1998.
3. Астахов А.В., Татарников Д.В. "Численное и экспериментальное исследование слабонаправленных конструкций с микрополосковым излучателем". Отчет по теме ФН010 «Интегрированные радиоэлектронные системы нового поколения». МАИ,1999
4. Астахов А.В., Татарников Д.В. «Анализ слабонаправленных металло-диэлектрических излучающих структур на основе метода декомпозиции», // Радиотехника (в печати).
5. Астахов А.В. «Математическая модель и результаты исследования слабонаправленных излучающих структур» XXII Всероссийская Молодежная Научная Конференция «Гагаринские чтения». Тезисы докладов, ч. 4, стр 124, Москва, МГАТУ, 1996.
6. Астахов А.В. «Математическое моделирование планарных металлодиэлектрических излучающих структур», Вторая Всероссийская Научная

Студенческая Конференция «Техническая кибернетика, радиоэлектроника и системы радиоуправления». Тезисы докладов. Стр. 143-144, Таганрог, ТРТУ, 1994.

7. D.Tatarnicov, A. Astakov "Two dimensional model and some results of wide pattern radiators investigation" IV-th Student Exchange Seminar Moscow Munix. Moscow Mai 1997

Соискатель



Астахов А.В.