

## 5. Оптимизация радиотехнических характеристик антенно-фидерных систем и решение проблем электромагнитной совместимости

В последние годы вопросы электромагнитной совместимости (ЭМС) радиосистем приобретают все большее значение. Работы по проблемам ЭМС, проводимые во многих странах, включают в себя как разработку более помехозащищенных радиосистем, так и совершенствование методик их проектирования с целью минимизации создаваемых помех. Большое внимание в этих работах уделяется антеннам.

Помехозащищенность антенн и их способность излучать помехи во многом определяются диаграммой направленности (ДН), по которой можно установить пространственное распределение и уровень паразитного бокового излучения. Способов изменения ДН с целью снижения вредного бокового излучения для апертурных (например, зеркальных) антенн в последние годы разработано достаточно много [1]. Одним из наиболее простых и эффективных приемов является использование достаточно глубокой металлической бленды с нанесенным на поверхность ее стенки радиопоглощающим материалом (РПМ). Для достижения большего снижения уровня бокового излучения необходимо применять дополнительные меры.

Одним из способов улучшения радиотехнического качества параболической антенны является установка в её апертуру углового фильтра (УФ). Идея использования УФ для снижения уровня бокового излучения была предложена в [2] и заключается в том, что нежелательные пространственные гармоники поля, которые образуются вследствие особенностей конструкции антенны, отражаются УФ и поглощаются в РПМ на бленде (рис. 1). Основное излучение антенны проходит через фильтр без потерь.

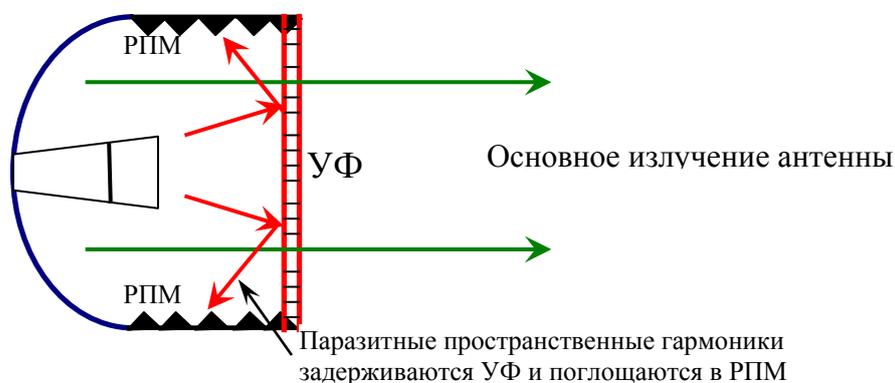


Рис. 1. Принцип работы УФ с блендой и поглощающим материалом.

В ИТПЭ РАН проводятся исследования, направленные как на доработку известных конструкций, так и на поиск новых радиопоглощающих структур, улучшающих радиотехническое качество антенн.

Кроме проблем ЭМС, в антенной технике часто возникает задача стабилизации ширины диаграммы направленности параболических антенн в широком диапазоне частот. ОАО «Градиент» и ИТПЭ РАН в совместном проекте предложили и отработали новую технологию решения этой задачи, в основе которой – нанесение на часть зеркала антенны специального РПМ с частотно-селективными свойствами. В результате была разработана и внедрена в серийное производство приемная многолучевая сверхширокополосная

зеркальная антенна, у которой ширина главных лепестков ДН слабо зависит от частоты в угломестной плоскости в диапазоне частот более чем 3 октавы (рис. 2).



Рис. 2. Макетный образец сверхширокополосной многолучевой зеркальной антенны

Созданное в ИТПЭ РАН радиопоглощающее покрытие (РПП) зеркала антенны обладает специальной частотной зависимостью коэффициента отражения, за счет чего обеспечивается достаточно высокое значение КПД системы. Для оптимизации структуры покрытия и зоны его нанесения в ИТПЭ РАН была разработана электродинамическая модель такой антенны. Подробное описание этой модели приведено в [3].

Современные требования к радиотехническим системам заставляют уделять особое внимание проектированию радиопрозрачных укрытий (РПУ), которые необходимы для защиты антенных устройств от внешних воздействующих факторов. С целью минимизации влияния РПУ на характеристики антенны необходимо рассматривать его как неотъемлемую часть антенной системы. Для анализа влияния РПУ на характеристики антенной системы необходимо использовать электродинамическую модель, на основе которой можно оценивать такие характеристики, как коэффициент пропускания РПУ, вносимую ошибку пеленга, изменение уровня боковых лепестков ДН антенны и т.д.

В ИТПЭ РАН на основе принципов физической оптики разработана методика расчета радиотехнических характеристик сложных многослойных РПУ произвольной формы (рис. 3).

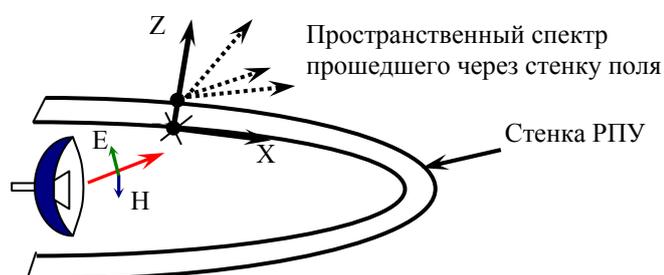


Рис. 3. Принцип электродинамического моделирования системы антенна - РПУ

Суть методики заключается в том, что в каждой точке поверхность РПУ считается локально плоской, а поле излучения антенны в каждой точке на поверхности РПУ представляется элементарным излучателем. Далее используется математически строгий способ [4] расчёта поля элементарного излучателя, находящегося на поверхности многослойной магнитоэлектрической структуры (стенки РПУ). Вычислительные

алгоритмы и программы, разработанные в ИТПЭ РАН на основе этого подхода, позволяют получить более точные результаты расчёта радиотехнических характеристик системы антенна – РПУ по сравнению с другими известными методиками, основанными на принципах физической оптики.

С помощью этих программ можно проводить различные исследования влияния РПУ на ДН антенны. В частности, можно строить диаграммы распределения углов падения волны по поверхности РПУ, определять влияние на радиотехнические характеристики различных дефектов стенки, рассчитывать профиль толщины специального компенсационного слоя для снижения ошибки пеленга и т.д. Это позволяет проектировать РПУ с высоким радиотехническим качеством.

Уникальными радиофизическими свойствами обладают РПУ со сложными стенками, в которые вмонтированы дифракционные решётки. Включение дифракционных решёток в состав конструкции стенки позволяет производить электродинамическое согласование произвольных по толщине диэлектрических слоёв, снижать радиолокационную заметность укрываемого объекта при приемлемом ухудшении его свойств прозрачности.

Дифракционные решётки – это периодические структуры, которые обычно изготавливаются из металлических или резистивных материалов. Чаще всего задача дифракции электромагнитной волны на бесконечных периодических структурах решается методом интегральных уравнений. Для составления интегральных уравнений используют периодические граничные условия, что позволяет вычислять электрические и магнитные токи только на одном периоде дифракционной решётки, тем самым существенно снижая требования к ресурсам ЭВМ. В ИТПЭ РАН разработана электродинамическая модель многослойной бесконечной периодической структуры, помещённой в многослойный магнитодиэлектрик. Функция Грина для многослойной магнитодиэлектрической структуры получена с помощью метода эквивалентных длинных линий [5], что позволило учесть электродинамическое взаимное влияние всех слоёв решетки друг на друга, а также влияние многослойного диэлектрика на каждый слой дифракционной решётки. Элементы матрицы системы линейных алгебраических уравнений, к которой приводит метод интегральных уравнений, оказалось возможным вычислять с применением быстрого преобразования Фурье. В результате достигнуто резкое сокращение время вычислений. Для планарных многослойных дифракционных решёток, лежащих между слоями многослойного магнитодиэлектрика, времени на вычисление их электродинамических характеристик затрачивается на порядок меньше по сравнению с применением других известных программ электродинамического проектирования (FEKO, HFSS и др.). С использованием построенной электродинамической модели многослойной магнитодиэлектрической структуры с многослойными дифракционными решётками создана вычислительная программа Stenka. Эта программа была тщательно протестирована по результатам других работ, с помощью коммерчески доступной САПР FEKO, а также с использованием экспериментальных данных. В настоящее время с помощью программы Stenka активно проводятся численные исследования решёток различного назначения.

## Литература

1. В.Г. Ямпольский, О.П. Фролов. Антенны и ЭМС. – М.: Радио и связь, 1983.
2. A. C. Schell et al. Metallic Grating Spatial Filter for Directional Beamforming Antenna// AD-D002-623; April, 1976.
3. К.М. Басков, Н.И. Бобков, И.И. Краснолобов, В.Н. Семененко. Моделирование сверхширокополосной зеркальной антенны// Журнал радиоэлектроники, 2013, № 4.

4. В.В. Бодров, С.И. Романов. Учёт влияния плоскостной среды на характеристики вибраторных антенн// Радиотехника и электроника, 1998, т. 43, № 10.
5. В.В. Бодров, В.И. Сурков. Математическое моделирование устройств СВЧ и антенн. – М.: Изд-во МЭИ, 1994.
6. Патент № 2459323, 04.05.2010. Россия. Стенка радиопрозрачного укрытия/ Опубликовано: 20.08.2012. Изобретатель: Басков К.М. Заявитель: ИТПЭ РАН.
7. Басков К.М. Метаматериал с повышенной механической прочностью и диэлектрической проницаемостью близкой к единице// Журнал радиоэлектроники, 2013, № 9.

