

УДК 621.396

А.П.Преображенский  
**ЗАДАЧИ ОЦЕНКИ СРЕДНИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
РАССЕЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН**  
*Воронежский институт высоких технологий*

*В данной работе рассмотрены некоторые задачи, возникающие при оценке средних характеристик рассеяния электромагнитных волн. Отмечены основные методы для оценки характеристик рассеяния. Приведена структура подсистемы для проектирования объектов с заданными средними характеристиками рассеяния.*

**Ключевые слова:** рассеяние электромагнитных волн, проектирование, метод, объект.

Задачи, связанные с оценками характеристик рассеяния электромагнитных волн имеют связь с тем, что требуется построение множества дифракционных структур и антенных систем. Для определенных случаев необходимо осуществлять анализ характеристик рассеяния не для заданных углов, а делать оценки по их средним величинам. В том случае, когда форма объектов будет достаточно простой, оценка средних значений может быть осуществлена даже по аналитическим формулам. Но если объекты содержат множество компонентов и являются сложными по своей форме, то при моделировании необходимо применять численные методы.

Дифракционные структуры, входящие, как составные части, в технические объекты, могут быть разными: они могут быть выпуклыми, осесимметричными, иметь в своем составе полые структуры, содержать периодические структуры, магнитодиэлектрические включения, объекты могут быть представлены как совокупность локальных источников.

Далее мы рассмотрим методику для проведения оценок средних характеристик объектов.

Рассмотрим последовательно несколько вариантов дифракционных структур, которые могут быть в составе объектов, имеющих сложную форму.

I. Дифракционная структура является выпуклым телом.

Требуется обозначить в составе подобного объекта такие элементы, как пластины и части сферы.

Проведение расчета отражений на основе метода геометрической оптики может быть проведен для таких тел, которые являются выпуклыми идеально проводящими и имеют значения конечных главных радиусов кривизны более, чем 2 длины волны.

Проведение расчета характеристик рассеяния таких элементов для главных лепестков диаграмм обратного рассеяния можно осуществлять с привлечением аналитических выражений.

Для оценки боковых лепестков может потребоваться использование метода краевых волн.

- II. Если дифракционная структура является полостью, то определяется полный контур, который ее образует. Характерным размером может быть размер апертуры или размер задней стенки. Тогда существуют возможности при заданной форме определить размеры ее боковых стенок, при которых будут экстремальные значения по средним характеристикам рассеяния для заданных углов наблюдения.

Методы расчета характеристик рассеяния полых структур следующие:

- модальный метод,
- метод интегральных уравнений,
- метод гауссовых пучков,
- метод геометрической оптики,
- метод конечных разностей во временной области,
- метод конечных элементов.

- III. Для расчета периодических структур в определенных случаях может быть использован итерационный подход. Это связано с тем, что матрица импедансов, получающаяся при записи токов, достаточно разреженная.

С использованием периодических структур можно с высокой эффективностью и на основе определенных подходов обеспечивать рассеивание облучающего поля, за счет преобразования свободных волн в поверхностные волны диэлектрических волноводов; исходя из того, какая конструкция, периодичность для одних или двух координатных осей и сложность построения периодов обеспечиваются возможности по электронному управлению диаграммами рассеяния; осуществляются процессы эффективного преобразования волн с фиксированными или ортогональными типами поляризации для полосы частот.

Достаточно перспективным является применение в качестве подобных структур металлических поверхностей с рассеивающими свойствами - периодический эшелеттный рельеф, который погружен в многослойные диэлектрики.

Вследствие того, что есть определенные геометрические особенности в эшелеттном профиле (внутри периодов идет плавное изменение глубины и ширины треугольных пазов), то применение его в составе структур дает возможности для повышения широкополосности устройств и обеспечивается возможность по эффективному преобразованию волн с ортогональными поляризациями.



Рис.1 Структура подсистемы для проектирования объектов с заданными средними характеристиками рассеяния.

IV. Если мы можем выделить на поверхности объектов локальные источники, то, как правило, их немного, и от них получается рассеянное электромагнитное поле для достаточно ограниченных секторов углов наблюдения.

Первичным электромагнитным полем на объектах происходит наведение поверхностях облучаемых объектов токов смещения и

проводимости. Эти компоненты определяют зарождение локальных источников по вторичному излучению.

Выражения для диаграммы обратного рассеяния источников во многих случаях могут быть записаны на основе аналитических выражений.

Основные этапы методики для анализа объектов следующие:

1. Анализ характеристик рассеяния отдельных элементов объекта, использование при расчете соответствующих методов, относящихся к низкочастотной или высокочастотной области.
2. Вычисления коэффициентов корреляции для характеристик элементов в библиотеке и входящих в состав объектов.
3. Выбор элементов с наибольшими коэффициентами корреляции и расчет характеристик рассеяния всего объекта.

На рис.1 приведена предлагаемая подсистема САПР для анализа.

Среди стандартных компонентов могут быть такие:

- цилиндр
- шар
- полая структура
- параллелепипед
- тетраэдр
- элемент плоской поверхности

Алгоритм расчета характеристик рассеяния на основе метода интегральных уравнений следующий:

- задается поверхность объекта
- определяются токи на поверхности на поверхности объекта, исходя из решения интегрального уравнения, например, на основе метода коллокаций
- проводится расчет рассеянного электромагнитного поля

При расчете характеристик рассеяния на основе геометрической теории дифракции (ГТД) можно опираться на четыре условия. Отметим их:

1. Совокупность дифракционных лучей исходит из тех лучей, которые направляются на неоднородные участки объектов: ребро, острие, и еще есть лучи, которые направляются на поверхности объектов.
2. По каждому лучу поля происходит образование большого числа дифракционных лучей.

В том случае, когда луч поля падает на острия (или вершины конусов), тогда происходит движение дифракционных лучей от них по всем направлениям.

Появляется сферическая волна. Когда луч направляется на ребро, то происходит образование дифракционного конуса.

Угол раствора в конусе и угол падения лучей равны. Закономерность появления дифракционных лучей для теневых областей гладких выпуклых тел отличается от правила появления лучей на ребрах и на остриях.

При этом лучи идут с поверхностей, которые относятся к теневым частям объектов. В таком случае говорят о волнах соскальзывания.

3. Существуют пропорции среди амплитуд дифракционных лучей и амплитудами начальных для него лучей для точки падения.
4. Происходит определение коэффициента дифракции из анализа того, какие локальные особенности формы тел для окрестностей падающих лучей (в тех случаях, когда существуют острия) или формы тел для окрестностей точек, где дифракционные лучи покидают объекты (для гладких объектов). Вычисление коэффициента дифракции происходит исходя из решения соответствующих ключевых задач.

Вывод. Таким образом, показана возможность поиска объектов, имеющих экстремальные значения средних характеристик рассеяния, и приведена структура подсистемы САПР, на основе которой можно осуществлять проектирование объектов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ваганов Р. Б., Каценеленбаум Б. З. Основы теории дифракции – М.: Наука, 1982. – 272 с.
2. Кобак В. О. Радиолокационные отражатели – М.: Сов. радио, 1972. – 248 с.
3. Вычислительные методы в электродинамике / Под ред. Р. Митры. – М.: Мир, 1977. – 485 с.
4. Уфимцев П. Я. Метод краевых волн физической теории дифракции – М.: Сов. радио, 1962. – 243 с.
5. Самохин А.Б. Интегральные уравнения и итерационные методы в электромагнитном рассеянии.—М: Радио и связь, 1998. —160 с.
6. Kunz K.S., Luebbers R.J. The Finite Difference Time Domain Method for Electromagnetics – CRC Press, 1993. – 461 p.
7. Малков Н.А., Пудовкин А.П. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств : учеб. пособие / – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2007. – 88 с.

A.P. Preobrazhensky

**THE PROBLEMS OF ESTIMATION THE AVERAGE SCATTERING  
CHARACTERISTICS OF ELECTROMAGNETIC WAVES**

*Voronezh Institute of High Technologies*

*In this paper we consider some problems that arise in the evaluation of secondary scattering characteristics of electromagnetic waves. The basic methods for the estimation of the scattering parameters are pointed out. The structure of the subsystem for the design of objects with given average characteristics of the scattering is given.*

**Keywords:** scattering of electromagnetic waves, design, method, object.