

УДК 621.396

**АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ РАССЕЙЯНИЯ РАДИОВОЛН НА ОБЪЕКТАХ С МАГНИТО-ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ МАТЕРИАЛАМИ****Губина Т.Н.***Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, e-mail: fgtwq@yandex.ru*

Рассмотрена задача рассеяния электромагнитных волн на объекте, содержащем на своей поверхности радиопоглощающий материал, который характеризуется постоянной толщиной. В качестве базового метода, лежащего в основе методики, предлагается использовать метод интегральных уравнений. Проводились расчеты по диаграммам обратного рассеяния, причем, как для объектов, имеющих выпуклую форму, так и объектов, имеющих в своем составе полые структуры. При математическом моделировании была использована двумерная модель, описывающая процессы рассеяния электромагнитных волн. Приведена зависимость эффективной площади рассеяния такой структуры от значений толщин радиопоглощающего материала. Рассчитанные значения эффективной площади рассеяния могут храниться в базе данных затем применяться при автоматизированном проектировании для формирования объектов с заданными характеристиками. Проведено обсуждение особенностей модуля системы автоматизированного проектирования.

**Ключевые слова:** поглощение радиоволн, проектирование, модуль, интегральные уравнения**ANALYSIS OF THE SCATTERING OF RADIO WAVES ON STRUCTURES WITH MAGNETO-DIELECTRIC MATERIALS****Gubina T.N.***Voronezh institute of high technologies, Voronezh, e-mail: fgtwq@yandex.ru*

We consider the problem of scattering of radiowaves on the object containing on its surface radar-absorbing material, which is characterized by a constant thickness. As a basic method underlying the methodology, it is proposed to use the method of integral equations. The calculations were made on diagrams of backscattering, and, as to objects having a convex shape, and the objects, having in its composition a hollow structure. At mathematical simulation was used a two-dimensional model describing the processes of scattering of electromagnetic waves. Given the dependence of the effective scattering area of such a structure from values of the thickness of radar absorbing material. The calculated values of the effective area of scattering can be stored in a database and then be used in computer aided design to generate objects with desired characteristics. A discussion of the features of the module computer aided design.

**Keywords:** absorption of radio waves, design, module, integral equations

Исследования, связанные с анализом разных технических объектов, рассеивающих радиоволны, показывают, что они во многих случаях рассматривают сложные структуры [1–3]. Проведение анализа и синтеза подобных структур следует рассматривать на базе моделей и способов, позволяющих проводить быстрые вычисления, но характеризующиеся небольшими ошибками [4, 5].

Сейчас для того, чтобы эффективным образом проектировать комплексные электродинамические объекты приходится применять системы автоматизированного проектирования (САПР).

В результате их использования появляются возможности по значительному расширению типов объектов, для которых анализируются процессы рассеяния радиоволн [6, 7].

Если исследователи стремятся к получению соответствующих эффектов, важных с точки зрения практических приложений, на поверхностях объектов можно помещать магнито-диэлектрические материалы. Их

присутствие заметно изменяет конфигурацию рассеянных электромагнитных полей.

Интерес к магнито-диэлектрическим материалам связан с тем, что в последнее время активизировались работы, касающиеся изучения свойств метаматериалов, сложных фотонных кристаллов, композитных материалов и проводится разработка подходов, направленных на их практическое использование.

О больших потенциальных возможностях можно говорить у структурах, имеющих резонансные элементы. Их могут использовать как пространственно-поляризационные и частотно-селективные фильтры.

На их базе можно проводить реализацию композитов и метаматериалов, имеющих пространственную и частотную анизотропию параметров, и разные виды микроволновых компонентов и систем: проводится внедрение электромагнитных кристаллов, волноводов, пространственно совмещенных электродинамических систем.

Цель данной работы направлена на проведение исследований рассеивающих свойств объектов, которые имеют сложные формы и на их поверхностях размещены магнитоэлектрические материалы.

При проведении решения задач, связанных с дифракцией плоских электромагнитных волн на различных структурах, содержащих магнито-диэлектрические покрытия, могут быть использованы разные методики и подходы. Среди них можно отметить: метод минимальных автономных блоков, метод частичных областей, метод, базирующийся на вычислении матриц рассеяния и др.

В качестве базового метода, лежащего в основе методики, предлагается использовать метод интегральных уравнений.

Проводились расчеты по диаграммам обратного рассеяния, причем, как для объектов, имеющих выпуклую форму, так и объектов, имеющих в своем составе полые структуры [8– 10].

Проведение сравнения с результатами, которые были получены с привлечением метода физической оптики, привело к ошибкам, не превышающим несколько дБ.

В результате, приведенный в работе способ показывает то, что его можно использовать при процессах проектирования объектов, на поверхности которых размещаются материалы, поглощающие радиоизлучения.

Когда проводится анализ многих современных технических объектов, на которых происходит рассеяние электромагнитных волн, то необходимо применять в комплексе множество способов [1, 5, 6].

При внедрении САПР происходит постановка и решение многих проблем, что значительным образом позволяет расширять классы анализируемых объектов [4].

Решение задач дифракции электромагнитных волн и проектирование многих объектов техники связано с размещением на поверхности объектов таких материалов, на основе которых происходит поглощение электромагнитного излучения [6, 8].

При математическом моделировании мы использовали двумерную модель, описывающую процессы рассеяния электромагнитных волн.

Рассмотрим схему рассеяния электромагнитных волн полый структуре, имеющей на задней стенке, имеющей круглую форму, поглощающий материал с постоянной величиной толщины (рис. 1).

Рассматривается случай E-поляризации. Используется соответствующая система интегральных уравнений [4, 10].

Для определения рассеянного электромагнитного поля применяли соответствующие формулы [4, 10].

Если проводить моделирование на основе метода минимальных автономных блоков, то для общего случая можно рассматривать двумерные прямоугольные блоки, это дает возможности для адаптации декомпозиционной схемы к характеристикам решаемых задач. Для того, чтобы моделировать металлические элементы, проводится подключение к граням блоков, которые имеют диэлектрическое заполнение блоков металлизации.

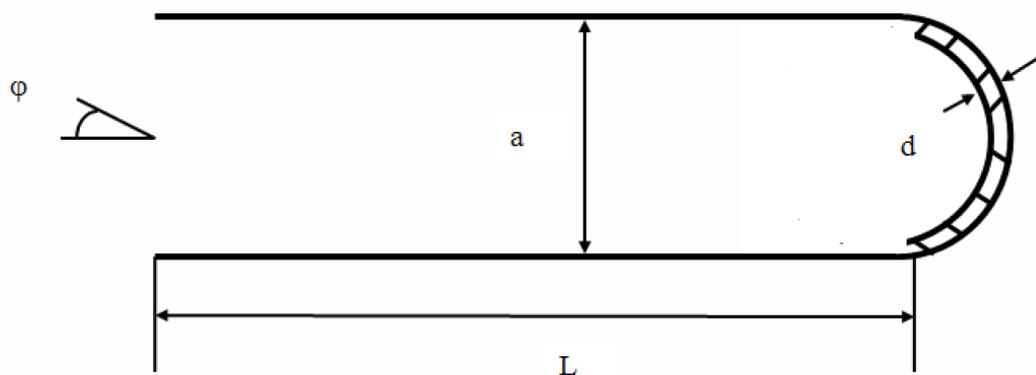


Рис. 1. Схема рассеяния электромагнитных волн на полый структуре, имеющей поглощающий материал на задней стенке:

$a$ ,  $L$  – апертура и длина полый структуры;  $d$  – величина толщины поглощающего материала;  $\varphi$  – угол, под которым идет падение электромагнитной волны

Проведение построения декомпозиционных схем и расчетов матриц рассеяния по всем имеющимся в ней блокам представляет собой первый этап в решении задачи на базе метода минимальных автономных блоков. Затем, чтобы получить решение, мы можем привлечь один из таких алгоритмов:

- проведение рекомпозиции минимального автономного блока и далее идет расчет многоканальной матрицы рассеяния, ориентируясь на свободные каналы, которые выходят на границы рассматриваемых областей; объединяются общие каналы на базе того, что используются матричные соотношения, относящиеся к теории многополосников;

- применение итерационного алгоритма, позволяющего проводить моделирование процессов многократных рассеяний канальных волн относительно системы МАБ;

- обеспечение условий, при которых задача будет сводиться к тому, что будет решаться система линейных алгебраических уравнений, в которой требуется определять комплексные амплитуды канальных волн; для матрицы коэффициентов подобной системы характерно то, что она будет сильно разрежена, это не дает возможности для применения эффективных алгоритмов ее реше-

ния, которые были развиты и использовались для методик, связанных с конечными разностями и конечными элементами;

- применение гибридных алгоритмов, в которых идет сочетание рекомпозиционного и итерационного подходов.

В том случае, если рассматривать решение задачи дифракции относительно периодических структур, в качестве довольно точного и устойчивого можно считать рекомпозиционный подход, в нем есть возможности для того, чтобы была получена матрица рассеяния по каналам, которые будут выходить к внешним поперечным границам декомпозиционных областей.

Каналы, которые выходят к стенкам волновода, будут объединены при учете условий периодичности и направлений, по которым распространяется падающая на объект электромагнитная волна.

Проведение перехода от многоканальных к многомодовым представлениям полей и определение значений комплексных амплитуд по рассеянным на объекте распространяющимся пространственным гармоникам осуществляется на базе методики многократного рассеяния на границах многоканальных и многомодовых представлений электромагнитного поля.

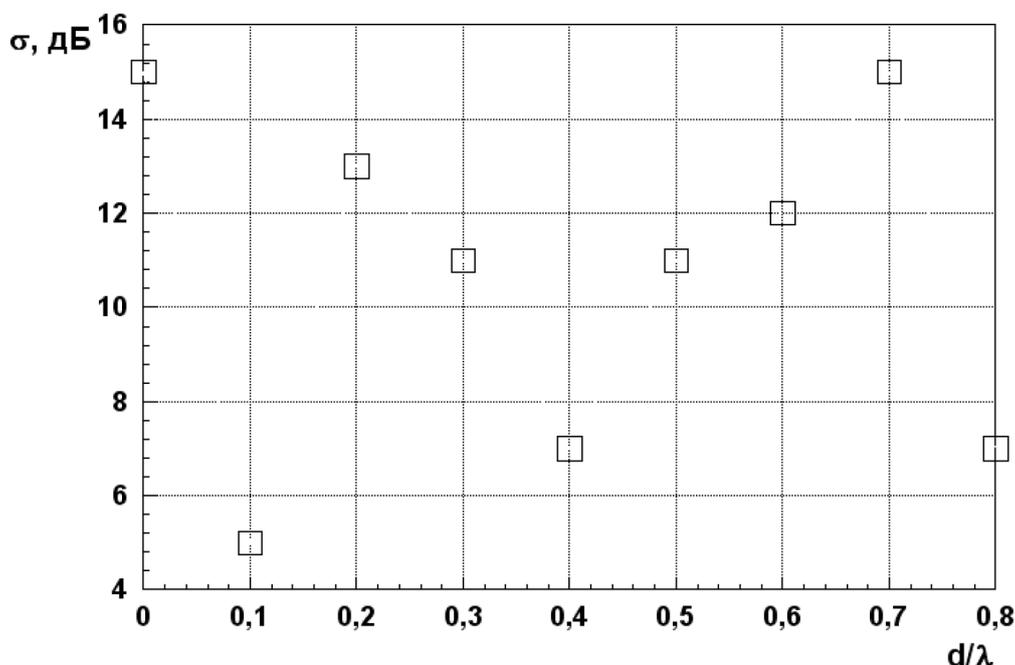


Рис. 2. Пример зависимости ЭПР от толщины радиопоглощающего материала

Оценку вычислительной эффективности решений дифракционных задач осуществляют с учетом количества блоков, которые есть в декомпозиционных схемах.

То, что есть мелкие детали для структуры периода и материалы, имеющие с большие значения (по модулю) диэлектрических и магнитных проницаемостей, ведет к тому, что растет количество основных и вспомогательных блоков.

При этом мы получаем значительное увеличение вычислительных затрат.

В этой связи, одной из актуальной может считаться задача, связанная с разработкой методик и алгоритмов, направленных на снижение вычислительных затрат при моделирование объектов без того, чтобы была существенная потеря точности, особенно это касается на резонансных частот.

Был проведен расчет эффективной площади рассеяния (ЭПР) полой структуры с использованием указанного способа.

На рис. 2 дан пример результатов расчета ЭПР, когда происходило изменение толщины материала, при угле наблюдения  $\varphi=0^\circ$ . Структура имела такие размеры:  $L=3.11$ ,  $L=2.951$ . Материал, поглощающий электромагнитное излучение имел диэлектрическую проницаемость  $\epsilon=6.8 - \varphi \times 8.9$ .

Те значения ЭПР, которые рассчитаны, можно хранить в БД и в дальнейшем использоваться в подсистеме САПР для того, чтобы строить объекты, имеющие заданные характеристики.

В подсистеме САПР необходимо поместить модуль, позволяющий проводить расчет характеристик, относящихся к метал-

лическому объекту, модуль, позволяющий оценивать рассеяние электромагнитных волн на поглощающем материале, модуль, позволяющий проводить прогнозирование характеристик рассеяния электромагнитных волн.

#### Список литературы

1. Моргунов В.С. Современные методы расчета распространения радиосигналов в помещениях / В.С. Моргунов // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2014. – № 12. – С. 136–139.
2. Данилова А.В. Характеристики методов трассировки лучей / А.В. Данилова, А.Г. Юрочкин // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2014. – № 13. – С. 27–29.
3. Баутин И.А. Модели распространения радиосигнала WI-FI / И.А. Баутин, А.Г. Юрочкин // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2017. – № 2 (21). – С. 107–112.
4. Stefanovic J. The technique of calculation the parameters of the electromagnetic the fields scattered by the body with complex form in the near zone / J. Stefanovic, E. Ruzitsky // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2017. – № 2(17). – С. 7.
5. Ерасов С.В. Оптимизационные процессы в электродинамических задачах // Вестник воронежского института высоких технологий. – 2013. – №10. – С.20–26.
6. Секушина С.А. Характеристики способов проектирования радиоэлектронных устройств / С.А. Секушина, А.А. Сапрыкин // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2014. – № 13. – С. 96–98.
7. Тюрин Н.М. О распространении волн сетей связи внутри зданий / Н.М. Тюрин // Международный студенческий научный вестник. – 2016. – № 3–2. – С. 237.
8. Тамбовцев Г.А. О некоторых свойствах методов трассировки лучей / Г.А. Тамбовцев // Международный студенческий научный вестник. – 2016. – № 3–2. – С. 236–237.
9. Казаков Е.Н. Разработка и программная реализации алгоритма оценки уровня сигнала в сети WI-FI / Е.Н. Казаков // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2016. – № 1 (12). – С. 13.
10. Самойлова У.А. Анализ сложных электродинамических объектов на основе параллельных вычислений / У.А. Самойлова // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 5–2. – С. 55–56.