

УДК 621.396

**ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОГЛОЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ  
УПРАВЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ РАДИОВОЛН****Бондаренко А.В.***Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, e-mail: bohbk@yandex.ru*

В данной работе обсуждаются возможности использования поглощающих материалов для управления характеристиками радиоволн. Отмечается, что для того, чтобы проводить расчеты, связанные с оценкой рассеивающих свойств тел, характеризующихся сложной формой, необходимо, чтобы были обеспечены условия по подробному математическому описанию особенностей их поверхностей. В метаматериалах можно избежать резонансов, которые приводят к проблемам плохой обусловленности, являющимися сложными для решения. Проведенный анализ показал, что для случаев, когда идет изменение толщины материала можно использовать алгоритм, основанный на комбинации методов физической оптики и методов интегральных уравнений. Это дает возможности эффективного управления характеристиками рассеянного электромагнитного поля, причем, не только путем изменения параметров метаматериалов, но и вследствие изменения размеров объектов.

**Ключевые слова:** метаматериал, распространение радиоволн, поглощение, алгоритм

**THE PROPAGATION OF RADIO WAVES UNDER CONDITIONS OF ABSORPTION****Bondarenko A.V.***Voronezh institute of high technologies, Voronezh, e-mail: bohbk@yandex.ru*

In this paper the possibility of using absorbing materials to control characteristics of radio waves. It is noted that in order to carry out calculations associated with the assessment of scattering properties of bodies, is characterized by a complex shape, it is necessary to provide conditions for a detailed mathematical description of the characteristics of their surfaces. In metamaterials it is possible to avoid resonances, which lead to the problems of poor conditioning, which is difficult to solve. The analysis showed that for cases when there is a change in the thickness of material you can use an algorithm based on combination of methods of physical optics and techniques of integral equations. This allows for effective management of the characteristics of the scattered electromagnetic field, and not only due to the change of parameters of metamaterials, but also by changing the size of objects.

**Keywords:** metamaterial, propagation, absorption, algorithm

Анализ современных технических объектов, на которых происходит рассеяние электромагнитных волн, показывает, что для довольно большого числа практических реализаций они характеризуются сложной структурой [5, 10]. С тем, чтобы эффективным образом осуществлять процессы, связанные с анализом и синтезом таких структур, необходимо применять модели и методов, приводящим при расчетах к меньшим значениям ошибок.

Когда получают информацию по разным объектам, функционирующим в радиолокационных диапазонах с применением натуральных, и физических экспериментов, то это может быть связано с большими затратами (материальные, организационные, временные) [1, 3, 4]. При этом одним из достаточно эффективных подходов для того, чтобы получать соответствующую информацию о том, какими значениями характеристик рассеяния обладают объекты, являются те, которые базируются на методах математического моделирования.

Если применять достаточно широко распространенные асимптотические методы, базирующиеся на высокочастотной дифракции, то не во всех случаях существуют воз-

можности без проведения сложных обобщений и усовершенствований осуществлять расчеты для оценки рассеивающих свойств, когда учитываются многие факторы, например, при рассмотрении степени сложности поверхности тел, когда размещаются разные материалы по поверхностям тел, которые ведут к поглощению радиоизлучений. Также эти материалы могут быть размещены и по разным изломам поверхности, осуществляется анализ при условиях, когда есть подстилающие поверхности, рассматриваются возможности по разнесенному приему.

Базируясь на вышесказанном, можно сказать, что проведение изучения рассеивающих свойств разных технических объектов ведет к необходимости того, чтобы развивались способы, направленные на оценку уровней электромагнитных рассеяний [6].

Для того, чтобы проводить расчеты, связанные с оценкой рассеивающих свойств тел, характеризующихся сложной формой, необходимо, чтобы были обеспечены условия по подробному математическому описанию особенностей их поверхностей [7, 8].

Целью данной работы является проведение исследований по оценке рассеивающих

свойств радиоволн на электродинамических структурах, на поверхности которых нанесены поглощающие покрытия и выдача предложений по тому, какая может быть структура подсистемы САПР, предназначенная для того, чтобы проектировать соответствующие объекты.

Во многих практически важных случаях при распространении электромагнитных волн необходимо управлять рассеянным электромагнитным полем. Для этого используют либо специальную форму рассеивателей, либо применяют магнито-диэлектрические материалы. Среди них можно выделить отдельный класс – метаматериалы. Материалы представляют собой ячеистые структуры, которые сконструированы из периодических ячеек, при этом их свойства намного превосходят обычные материалы.

Численные проблемы распространения электромагнитных волн в метаматериалах являются весьма важными, поскольку они обеспечивают информацию о новых закономерностях функционирования новых структур, без из практической реализации.

В метаматериалах можно избежать резонансов, которые приводят к проблемам плохой обусловленности, являющимися сложными для решения [2].

Задачи могут быть переформулированы таким образом, чтобы решение являлось более стабильным, или, в случае итеративных подходов, применяют методики предварительной обработки данных, чтобы существенным образом улучшить устойчивость решения задач.

Кроме того, в метаматериалы, обычно, входят компоненты, размеры которых много меньше, чем длина волны, тогда как общие размеры превышают длину волны.

Сейчас в ряде работ можно наблюдать разработку алгоритмов быстрого расчета характеристик распространения электромагнитных волн для высокочастотных приложений, что не всегда приемлемо для корректного анализа свойств метаматериалов, чтобы заметным образом улучшить решения.

В данной работе мы предлагаем модификацию подхода, приведенного в [9]. На основе решения уравнений Максвелла можно определить характеристики для рассеянных  $E$  и  $H$  полей.

Проведенный анализ показал, что для случаев, когда идет изменение толщины материала можно использовать алгоритм, основанный на комбинации методов физической оптики и методов интегральных уравнений.

Это дает возможности эффективного управления характеристиками рассеянного электромагнитного поля, причем, не только за счет изменения параметров метаматериалов, но и за счет изменения размеров объектов.

В качестве перспективных направлений исследований представляет интерес определение влияния степени изгиба материала на изменения в характеристиках рассеяния объекта.

Когда мы наблюдаем, как проходят радиоволны сквозь различные вещества, то можно увидеть, что будет осуществляться поглощение энергии волн подобными веществами. Это поглощение будет отсутствовать в случае безвоздушного пространства.

Весьма мало будет поглощение в случае неионизированного воздуха. В случае твердых диэлектриков, полупроводников и проводников уровень поглощения радиоволн значителен. Если на пути радиоволны будет размещен некоторый проводник, то большая доля ее энергии будет им поглощена.

Мы можем объяснить это тем, что волной будут приводится в движение электроны в проводнике и возникает ток, имеющий высокую частоту.

Чтобы он возник, требуется, чтобы была израсходована энергия волн. Например, на этом эффекте основывается прием радиоволн антенными структурами. Если же будет движение волны вдоль проводников, то в этом случае уровень поглощения энергии будет заметно меньше.

В этой связи, над проводящими поверхностями, например, над морями, вдоль рек, над железными дорогами и проводными линиями, радиоволны будут распространяться дальше, чем в случае сухой почвы.

Диэлектриками также будет идти поглощение энергии волн. За счет поля волны будет создано в молекулах диэлектриков электронное смещение, говорят о токе смещения. Он будет представлять собой ток высокой частоты, поскольку связан с колебаниями электронов во внутренней области молекул.

Токи смещения ведут к тому, что диэлектрик будет нагреваться, на это будет идти энергия. В полупроводниках соединяются свойства проводника и диэлектрика.

Внутри них можно говорить и о токах проводимости, и о токах смещения. Ионизированными слоями атмосферы, которые представляют собой полупроводники, заметным образом происходит поглощение энергии проходящих волн.

Когда радиоволны движутся над земной поверхностью, то будет осуществляться поглощение их энергии почвенным слоем, а также окружающими сложными предметами, могут влиять препятствия (горы, холмы, леса, городские здания, проводные линии и др.). Довольно большой уровень поглощения будет создаваться металлическими крышами, железобетонными сооружениями, проводами, горами, имеющими металлические руды или влажными слоями земли, сырными каменными домами, лесами.

Когда радиоволны распространяются, то происходит уменьшение их амплитуды пропорционально квадрату расстояний от источников, это довольно заметное уменьшение. В зависимости от того, какова чувствительность приемных устройств и мощность передающих устройств можно указать предельное расстояние, которое будет ограничено затуханием.

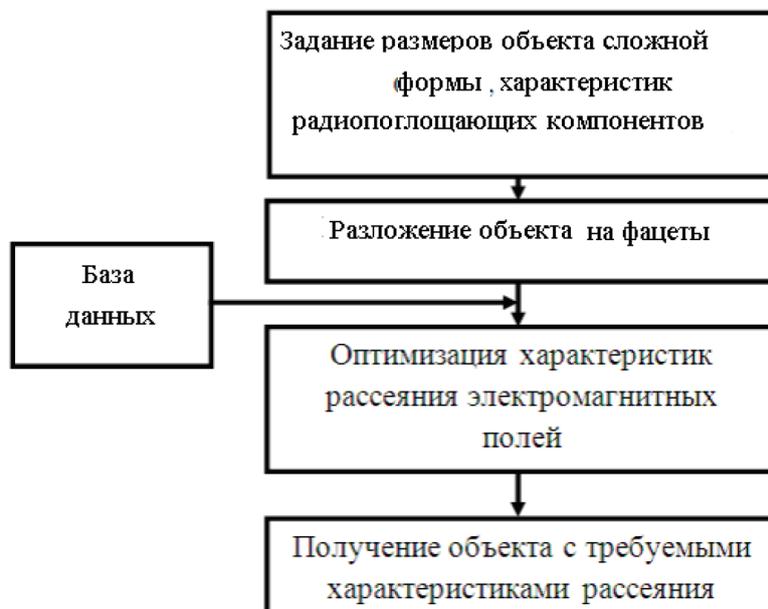
Когда радиоволна будет встречать препятствие в виде некоторого материала, то будет происходить поглощение части ее энергии таким материалом, часть будет отражаться, часть будет проходить сквозь материал. Для разных материалов можно указать разную силу поглощения, помимо этого степень поглощения определяется тем, какова длина волны. Вследствие тумана, дождя, снега происходит значительное ослабление

сигнала, когда длина волны будет меньше, чем 5 см, для диапазона Wi Fi (при длине волны равной 10–12 см) влияние, связанное с осадками уже будет слабее, а если частоты уменьшаются то затухание практически не будет заметно.

На рисунке приведена схема подсистемы САПР, позволяющая определять необходимые характеристики объектов, имеющих сложные формы.

Распространение радиоволн может происходить по разным направлениям. При процессах многократных отражений от земной поверхности, разных объектов, сигнал будет достигать мест назначения по различным путям. интерференция радиоволн В местах приема, в зависимости от того, какова фаза лучей сигналы могут как испытывать увеличение (происходит сложение разных лучей), так и уменьшение (происходит компенсация разных лучей друг другом).

Для радиолинии, относящейся к диапазону 2,4 ГГц, когда расстояние между передатчиком и приемником составляет около 500 м для радиуса зоны Френеля будет составлять порядка 3,9 м. Другими словами вдоль линии, которая соединяет приемное и передающее устройство для ее средней части при значении радиуса 3,9 м не должны находиться предметы, которые отражают или рассеивают радиоизлучение.



*Схема подсистемы САПР, которая предназначена для того, чтобы проектировать объекты в рамках фацетных моделей. В качестве выходных результатов мы будем рассматривать размеры исследуемых объектов*

Список литературы

1. 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.
2. Кульнева Е.Ю. О характеристиках, влияющих на моделирование радиотехнических устройств / Е.Ю. Кульнева, И.А. Гащенко // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 5-2. – С. 50.
3. Секушина С.А. О возможностях применения гибридации в электродинамике / С.А. Секушина // Международный студенческий научный вестник. – 2016. – № 3-2. – С. 234–235.
4. Воронов А.А. Обеспечение системы управления рисками при возникновении угроз информационной безопасности / А.А. Воронов, И.Я. Львович, Ю.П. Преображенский, В.А. Воронов // Информация и безопасность. – 2006. – Т. 9. № 2. – С. 8–11.
5. Калашников А.О. Атаки на информационно-технологическую инфраструктуру критически важных объектов: оценка и регулирование рисков: монография / А.О. Калашников, Е.В. Ермилов, О.Н. Чопоров, К.А. Разинкин, Н.И. Баранников / под ред. чл.-корр. РАН Д.А. Новикова. – Воронеж: ООО «Издательство «Научная книга», 2013. – 159 с.
6. Львович И.Я. Основы информатики: учебное пособие / И.Я. Львович, Ю.П. Преображенский, В.В. Ермолова. – Воронеж: Воронежский институт высоких технологий, 2014. – 339 с.
7. Пахомова А.С. Целенаправленные угрозы компьютерного шпионажа: признаки, принципы и технологии реализации / А.С. Пахомова, О.Н. Чопоров, К.А. Разинкин // Информация и безопасность. – 2013. – Т. 16. № 2. – С. 211–214.
8. Ермилов Е.В. Риск-анализ распределенных систем на основе параметров рисков их компонентов / Е.В. Ермилов, Е.А. Попов, М.М. Жуков, О.Н. Чопоров // Информация и безопасность. – 2013. – Т. 16. № 1. – С. 123–126.
9. Губанова Л.А. Метод расчёта конструкции широкополосных интерференционных лазерных пластин-поляризаторов / Л.А. Губанова, Д.Н. Первозкин // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2017. – № 2(17). – С. 3.
10. Consuelo Bellver-Cebreros On Inhomogeneous Metamaterials Media: A New Alternative Method for Analysis of Electromagnetic Fields Propagation / Consuelo Bellver-Cebreros, Marcelo Rodriguez-Danta // Progress In Electromagnetics Research, Vol. 149, pp.101–108, 2014.