

УДК 621.396

Е.С. Лактионова

## О НЕКОТОРЫХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ МАТЕРИАЛОВ, ПОГЛОЩАЮЩИХ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ

*ООО «Моторинвест», г. Липецк*

*Проведен анализ основных характеристик материалов, которые могут поглощать радиоизлучения. Отмечены подходы, связанные с исследованием внутренней структуры радиопоглощающих материалов.*

**Ключевые слова:** распространение радиоволн, поглощение, электромагнитное поле.

Рассеяние электромагнитных волн в основном происходит на объектах, имеющих сложную форму, в том числе и имеющих на своей поверхности поглощающие материалы [1-6]. В настоящее время хорошо развиты различные способы оценки характеристик рассеяния электромагнитных волн, они могут опираться и на численные методы [7-11].

Когда проводится разработка форм экранов или систем, связанных с поглощением электромагнитных волн, то при этом применяют разные материалы, которые обладают свойствами отражения или поглощения электромагнитных излучений для определенного диапазона частот. Важно понимать, что в существующих условиях нет материалов, которые идеальным образом поглощают или отражают распространяющиеся электромагнитные волны [12].

Одними из характеристик, которые определяют способности среды к поглощению, являются диэлектрическая и магнитная проницаемости. Они в общем случае представляют собой тензорные, комплексные величины, и на основе них могут быть построены модели процессов распространения электромагнитных волн. Протекание поглощения электромагнитной энергии идет вследствие того, что возникают диэлектрические, магнитные потери и потери на проводимость, их стремятся максимизировать, чтобы был максимум по эффективности экранирования. Электромагнитные волны отражаются на разных неоднородностях, которые есть в материалах [13].

Достаточно часто применяют рассеивание плоской волны на многих неоднородностях структур радиопоглощающих материалов [14-21].

Среди радиоотражающих материалов можно выделить разные металлы. Большей частью используют алюминий, медь, сталь, поскольку они эффективны для радиочастот, причем отражение растет при увеличении частот падающих электромагнитных излучений. При конструктивном исполнении применяют как сплошные экраны, так и сетки, но, необходимо помнить, что чем меньше размер у ячеек, и чем

проволока имеет большую толщину, тем большие защитные свойства у такого экрана.

При отражении электромагнитного излучения от экранов может возникать переотраженная волна, она ведет к тому, что изменяются параметры изучаемого объекта.

Построение конструкций, которые поглощают распространяющиеся электромагнитные волны, основано на явлениях потерь на проводимость, величины также магнитных и диэлектрических потерь в среде, прямо пропорциональны величинам относительных диэлектрических ( $\epsilon$ ) и магнитных ( $\mu$ ) проницаемостей материалов. Если возникает идеальный случай, то следует максимизировать и приравнять друг другу величины  $\epsilon$  и  $\mu$  [22].

Для того, чтобы повысить эффективность поглощения, используют многослойные материалы, которые в виде симметричных структур [23], построенные на основе чередования слоев или с использованием градиентных материалов, дает возможности по улучшению согласования волнового сопротивления экрана и волнового сопротивления среды, в которой распространяется электромагнитная волна.

Для того, чтобы достичь требуемых значений характеристик отражения, экран жестко фиксируют. Но есть и гибкие системы, в них подавление излучений идет вследствие того, что излучение взаимодействует с материалами наполнителей.

Если проводить анализ поглощающих материалов, которые используются в строительстве, то их не очень много. Среди них можно отметить бетон, кирпич. Влажные конструкции обладают большей проводимостью (на несколько порядков), а если вводят специальные добавки (сажу, кокс) то она будет еще больше. Диэлектрическая проницаемость строительных материалов может варьироваться от нескольких единиц до нескольких десятков [24].

Идет развитие технологий формирования композиционных материалов, в них характеристики могут быть разными за счет подборов материалов [25]. При подготовке материалов привлекают методы порошковой металлургии, а также способы подготовки композиционных материалов.

Представляет практический интерес использование жидких сред, имеющих потери, в качестве радиопоглощающих материалов. Вода, имея достаточно высокую диэлектрическую проницаемость, а также с введением различных смесей и частиц, может рассматриваться как перспективный материал. Причем на свойства подобных материалов оказывает влияние влажность окружающей среды [26].

Для фиксации жидкости используют различные подходы, в том числе и капиллярный эффект, на основе которого жидкость задерживается

порах. Применение пористых волокнистых материалов имеют высокую влагоемкость, варьирующуюся в больших пределах.

Когда идет взаимодействие радиоволн с материалами, то изменение различных их параметров ведут к тому, что можно охарактеризовать разные дефекты (трещины, полости, неравномерность по структуре и др). В задачах, связанных с микрорадиоволновым методом необходимо обнаруживать такие дефекты.

Среди радиоволновых методов выделяют резонаторные, волноводные, а также с использованием свойств свободного пространства [27-30].

В первых двух, исследуемый образец размещают внутри волноводов или резонаторов.

В последнем подходе происходит регистрация интенсивностей, которые идут через рассматриваемый объект. В качестве анализируемых характеристик рассматриваются коэффициенты прохождения и отражения.

Контроль толщины образцов может рассматриваться как показатель качества их подготовки, при этом используются методы радиотолщинометрии. При этом используют амплитудно-фазовые подходы или методики, основанные на резонансе.

В первом подходе происходит измерение или балансировка по комплексным сопротивлениям для СВЧ-антенн.

Во втором подходе происходит изменение собственной резонансной частоты объемного резонатора, когда наблюдается отклонение толщин анализируемых покрытий от номинальных значений, вследствие изменения формы резонатора.

Для сложных структур может потребоваться построение комбинированных подходов [31-33].

С целью достижения требуемых уровней мощности отраженного электромагнитного поля во многих случаях используют методы оптимизации [34-35].

Вывод. Радиопоглощающие материалы, путем подбора их свойств, могут быть использованы для решения широкого круга задач, связанных с рассеянием и распространением радиоволн.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Буддыгин Е.М. Рассеяние электромагнитных волн на полой структуре коаксиального поперечного сечения / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2014. № 12. С. 93-97.

2. Моргунов В.С. Современные методы расчета распространения радиосигналов в помещениях / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2014. № 12. С. 136-139.
3. Сапрыкин А.А. Характеристики высокочастотных Mesh-сетей / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2014. № 12. С. 116-118.
4. Пронских Н.И. Применение эвристических методов при решении задач рассеяния электромагнитных волн / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2014. № 12. С. 51-53.
5. Блохина Т.В., Ружицки Е. Исследование рассеяния электромагнитных волн на объекте при условии помех / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2014. № 12. С. 47-50.
6. Блохина Т.В., Дэвид Андерсон Прогнозирование характеристик рассеяния электромагнитных волн для тетраэдра/ Вестник Воронежского института высоких технологий. 2014. № 12. С. 43-46.
7. Булдыгин Е.М. Использование метода интегральных уравнений для расчета характеристик рассеяния объектов / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2014. № 12. С. 98-101.
8. Жулябин Д.Ю. Оценка и подавление импульсного шума в OFDM / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2014. № 12. С. 73-80.
9. Преображенский А.П. О применении комбинированных подходов для оценки характеристик рассеяния объектов / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2014. № 12. С. 69-70.
10. Преображенский А.П. О возможностях ускорения вычислений при решении задач / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2014. № 12. С. 67-68.
11. Пронских Н.И. Свойства метода конечных разностей в электродинамических задачах / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2014. № 12. С. 28-31.
12. Ковнеристый Ю.К., Лазарева И.Ю., Раваев А.А. Материалы, поглощающие СВЧ излучение / М. Наука, 1982г., 163 с.
13. Панченко Б.А., Гизатуллин М.Г., Игитханян Г.В. Рассеяние и поглощение электромагнитных волн на неоднородных телах / Теория, техника и экономика сетей связи: Сборник научно-технических и методических трудов. Выпуск 5 / Под редакцией Е.А. Субботина. - Екатеринбург: УрТИСИ ГОУ ВПО "СибГУТИ", 2006. - 296 с.
14. Львович Я.Е., Львович И.Я., Преображенский А.П. Решение задач оценки характеристик рассеяния электромагнитных волн на дифракционных структурах при их проектировании / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2010. № 6. С. 255-256.

15. Преображенский А.П. Прогнозирование радиолокационных характеристик объектов с радиопоглощающими покрытиями в диапазоне длин волн / Телекоммуникации. 2003. № 4. С. 21-24.
16. Преображенский А.П. Моделирование и алгоритмизация анализа дифракционных структур в САПР радиолокационных антенн / Воронеж, Научная книга, 2007, 248 с.
17. Головинов С.О., Преображенский А.П., Львович И.Я. Моделирование распространения миллиметровых волн в городской застройке на основе комбинированного алгоритма / Телекоммуникации. 2010. № 7. С. 20-23.
18. Львович Я.Е., Львович И.Я., Преображенский А.П., Головинов С.О. Исследование метода трассировки лучей для проектирования беспроводных систем связи / Электромагнитные волны и электронные системы. 2012. Т. 17. № 1. С. 32-35.
19. Львович Я.Е., Львович И.Я., Преображенский А.П., Головинов С.О. Исследование методов оптимизации при проектировании систем радиосвязи / Теория и техника радиосвязи. 2011. № 1. С. 5-9.
20. Милошенко О.В. Методы оценки характеристик распространения радиоволн в системах подвижной радиосвязи / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2012. № 9. С. 60-62.
21. Мишин Я.А. О системах автоматизированного проектирования в беспроводных сетях / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2013. № 10. С. 153-156.
22. Родос Л.Я. Электродинамика и распространение радиоволн (распространение радиоволн): Учебно-методический комплекс (учебное пособие) / СПб.: Изд-во СЗТУ, 2007. - 90 с.
23. Панченко Б.А., Гизатуллин М.Г. Рассеяние и поглощение электромагнитных волн слоистыми структурами: Монография. / Екатеринбург: УрТИСИ ГОУ ВПО "СибГУТИ", 2008. - 117 с.
24. Черкасов В.Н., Костарев Н.П. Пожарная безопасность электроустановок: Учебник / М.: Академия ГПС МЧС России, 2002.-377 с.
25. Михалин Ю.А. Специальные полимерные композиционные материалы / СПб: Научные основы и технологии, 2008. - 600 с.
26. [http://www.rusnanonet.ru/download/documents/radar\\_absorbent\\_material.pdf](http://www.rusnanonet.ru/download/documents/radar_absorbent_material.pdf)
27. Викторов В.А., Лункин Б.В., Совлуков А.С. Радиоволновые измерения параметров технологических процессов / М., Наука, 1989.
28. Преображенский А.П., Чопоров О.Н. Алгоритм расчета радиолокационных характеристик полостей с использованием приближенной модели / Системы управления и информационные технологии. 2005. № 4. С. 17-19.

29. Косилов А.Т., Преображенский А.П. Методы расчета радиолокационных характеристик объектов / Вестник Воронежского государственного технического университета. 2005. Т. 1. № 8. С. 68-71.
30. Львович И.Я., Львович Я.Е., Преображенский А.П. Построение алгоритма оценки средних характеристик рассеяния полых структур / Телекоммуникации. 2014. № 6. С. 2-5.
31. Коденцев Е.И., Преображенский А.П. Некоторые характеристики радиочастотной идентификации / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2014. № 12. С. 22-23.
32. Блохина Т.В., Аббас Джасем Хуссей Возможности определения параметров объектов на основе расчетно-экспериментального подхода / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2014. № 12. С. 39-42.
33. Преображенский А.П. О применении расчетно-экспериментального подхода при исследовании распространения волн Wi-Fi внутри помещения // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2014. № 12. С. 71-72.
34. Львович Я.Е. Многоальтернативная оптимизация: теория и приложения - Воронеж, 2006, Издательство "Кварта", 415 с.
35. Львович Я.Е., Львович И.Я. Принятие решений в экспертно-виртуальной среде / под редакцией Львовича Я.Е.//Воронеж, 2010, Издательство "Научная книга", 139 с.

E.S. Laktioniva

**ABOUT SOME CHARACTERISTICS OF MATERIALS  
THAT CAN ABSORB ELECTROMAGNETIC RADIATION**

*Joint-stock company «Motorinvest», Lipetsk*

*The analysis of the main characteristics of materials that can absorb the radiation is carried out. The approaches are noted that related to the study of the internal structure of radio-absorbing materials.*

**Keywords:** radiowave propagation, absorption, electromagnetic field.