

УДК 621.396

А.М. СОТНИКОВ

*Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба*

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ОТРАЖАЮЩИХ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА С НЕРЕГУЛЯРНОЙ СТРУКТУРОЙ ПРОВОДИМОСТИ

Приведены результаты экспериментальной оценки отражающих свойств композитного материала с нерегулярной структурой проводимости при концентрации высокопроводящих включений на пороге протекания.

**композитные радиоизотопные материалы, нерегулярная структура проводимости, отражающие свойства**

### Постановка задачи и анализ литературы

В настоящее время в интересах снижения радиолокационной заметности различных объектов все более широкое применение находят радиопоглощающие покрытия на основе композитных материалов. В работах [1 – 4] показано, что существенными преимуществами в поглощающих и рассеивающих свойствах в широком частотном диапазоне обладают композитные материалы с радиоизотопными включениями. Такие материалы за счет радиоизотопных включений, случайным образом распределенных в диэлектрической матрице, являются материалами со сложной фрактальной структурой. Фрактальные среды характерны тем, что их макроскопические свойства зависят от их фрактальных характеристик (например, фрактальной размерности материала или его пористости). Известно, что при взаимодействии электромагнитных волн (ЭМВ) со структурами с нерегулярным распределением проводимости на пороге протекания наблюдается аномально высокое поглощение [3].

В работе [2, 3] нами показана взаимосвязь между затуханием ЭМВ, падающих на композитное покрытие, и распределением высокопроводящих включений, а также найдена зависимость коэффи-

циента затухания от показателя дробной производной, описывающей память в системе с нерегулярной структурой, обусловленной радиоизотопными включениями. Результаты численных расчетов коэффициента затухания ЭМВ в зависимости от степени нерегулярности включений показывают, что величина затухания определяется показателем степени спада корреляций, связанных с величиной фрактальной размерности структуры материала, и может в зависимости от выбора степени нерегулярности достигать значений, близких к 1. Для определения возможности использования фрактальных свойств материала и оценки возможности их применения, например, при создании сильно поглощающих материалов необходимо, наряду с теоретическими оценками, располагать экспериментальными данными, подтверждающими эти оценки и позволяющими практически определить условия высокого затухания ЭМВ при их взаимодействии с такими средами. Однако, как показал анализ, в известной литературе отсутствуют необходимые экспериментальные данные, подтверждающие результаты теоретических оценок затухания ЭМВ на структурах с неоднородным и нерегулярным распределением проводимости и необходимые для оптимизации структуры покрытий на основе КМРВ для получения максимального затухания ЭМВ.

В этой связи целью данной работы является экспериментальная оценка отражающих свойств поверхности композитного материала с неоднородной и нерегулярной структурой проводимости в широком частотном диапазоне.

### Основной материал

Поверхность композитного материала с радиоизотопными включениями моделировалась с помощью металлизированной диэлектрической пластины путем травления в соответствии с шаблоном распределения проводящих включений. Внешний вид поверхности макета покрытия показан на рис. 1. Для обеспечения достоверности измерений параметры моделируемого неоднородного и нерегулярного (фрактального) распределения проводимости выбирались из условия обеспечения концентрации включений на пороге протекания.

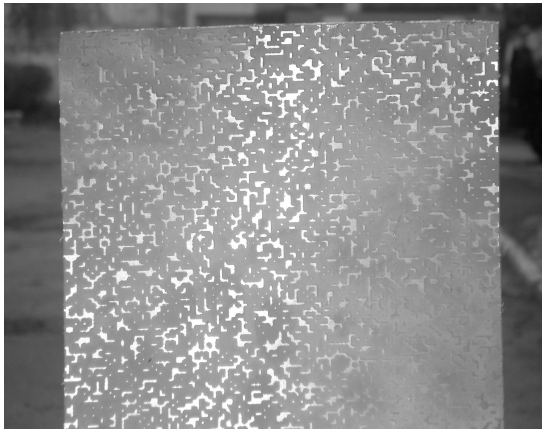


Рис. 1. Внешний вид покрытия с неоднородной и нерегулярной структурой проводимости

Функциональная схема экспериментальной установки представлена на рис. 2.

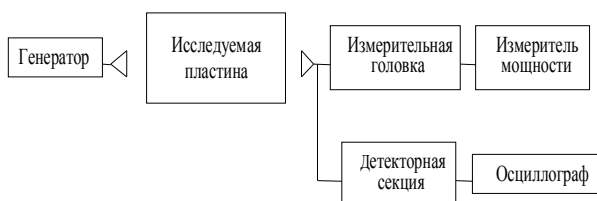


Рис. 2. Функциональная схема экспериментальной установки

В состав экспериментальной установки входят:

1. Генератор высокочастотных сигналов Г4-156.
2. Антенна измерительная П6-10А.
3. Измеритель мощности М3-22А.
4. Измерительная головка М5-45.
5. Антенна измерительная П6-10А.
6. Детекторная секция.

Внешний вид экспериментальной установки для измерения мощности отраженного сигнала на частоте 10 ГГц показан на рис. 3. Экспериментальная установка исследования отражающих свойств поверхности покрытия на частоте 37,5 ГГц показана на рис.4.

Условия проведения эксперимента.

1. Расстояние  $R$  от генератора до пластины выбиралось из условия обеспечения дальней зоны  $(R > \frac{D^2}{\lambda})$ , где  $D$  – размер апертуры антенны,  $\lambda$  – длина волны).
2. Среда распространения электромагнитного излучения – свободное пространство.
3. Обеспечение полной развязки излучающей и принимающей антенн.
4. Исключение переотражений от окружающих предметов и объектов.



Рис. 3. Внешний вид установки для измерения мощности отраженного сигнала на частоте 10 ГГц

Определение отражающих свойств материала с неоднородной структурой проводимости осуществлялось в два этапа. Первый этап заключался в оцен-

ке отражающих свойств пластины на частоте 10 ГГц. Второй этап заключался в оценке отражающих свойств пластины на частоте 37,5 ГГц. Результаты измерений сравнивались с результатами измерений отраженного сигнала от металлической пластины, выполненных при тех же условиях.

Измерения отраженного сигнала осуществлялись на вертикальной и горизонтальной поляризациях для двух углов зондирования от нормали: 18 и 28 градусов. Для обеспечения нормального закона распределения ошибок измерений количество измерений выбиралось равное 30.

Обобщенные результаты экспериментальных исследований отражающих свойств покрытия с неод-

нородной и нерегулярной структурой проводимости представлены в табл. 1.



Рис. 4. Внешний вид установки для измерения мощности отраженного сигнала на частоте 37,5 ГГц

Таблица 1

Результаты экспериментальных исследований отражающих свойств покрытия с неоднородной и нерегулярной структурой проводимости

Частота, ГГц	$\theta$ , град	Поляризация	Результаты обработки измерений					
			$P_{отр.ср}$ (металл), мкВт	$\sigma$	$P_{отр.ср}$ (покрытие), мкВт	$\sigma$	$\Delta P$	$\Delta P/P_m$
37,5	18	В	117,13	16,84	81,167	15,51	35,969	0,31
37,5	18	Г	118,96	18,34	50,3	9,267	68,667	0,58
10,0	18	В	173,6	13,00	147,833	9,903	25,767	0,15
10,0	18	Г	249,6	18,18	108,1	10,88	141,5	0,57
37,5	28	В	201,53	19,62	125,9	15,34	75,633	0,38
37,5	28	Г	202,06	19,03	122,5	16,58	79,567	0,39
10,0	28	В	263,76	17,42	187,833	15,31	75,934	0,29
10,0	28	Г	268,86	19,94	101,467	18,38	167,4	0,62

Обработка результатов измерений проводилась на основе теории случайных ошибок [5].

Результаты экспериментальных исследований отражающих свойств поверхности композитного материала с неоднородной и нерегулярной структурой проводимости подтвердили результаты теоре-

тической оценки затухания ЭМВ в сантиметровом и миллиметровом диапазонах длин волн на структурах с неоднородным и нерегулярным распределением проводимости. Кроме того, результаты экспериментальной оценки показали, что структура отраженного сигнала приобретает изрезанный характер,

что приводит к искажению радиолокационных характеристик объекта.

### Выводы

Таким образом, при выборе концентрации радиоизотопных включений на пороге протекания с соответствующим (фрактальным) распределением включений наблюдается в широком частотном диапазоне значительное ослабление падающей на покрытие ЭМВ.

Экспериментально установлено, что в таких материалах ослабление сигнала может достигать до (40 – 50)% от исходного значения.

Кроме того, нерегулярная структура высокопроводящих включений приводит к искажению диаграммы направленности отраженного от покрытия сигнала.

На наш взгляд использование принципов построения композитных материалов, связанных с фрактальным распределением радиоизотопных включений, позволит создавать эффективные радиопоглощающие материалы, применение которых обеспечит снижение отражающих свойств в широком частотном диапазоне.

### Литература

1. Особенности электродинамических свойств фрактальных композитных материалов с  $\alpha$ -радиоактивными включениями / А.М. Сотников, Г.Ф. Коняхин, Г.В. Рыбалка, С.И. Кононенко,

В.Ф. Клепиков, В.В. Литвиненко, В.Е. Новиков // Системи обробки інформації. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2002. – Вип. 6 (22). – С. 142-154.

2. Сотников А.М. Механизмы управления электрофизическими свойствами и принципы построения широкодиапазонных композитных материалов // Моделювання та інформаційні технології. – К.: НАНУ, Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Е. Пухова. – 2005. – Вип. 33. – С. 160-164.

3. Колебательный контур с фрактальной нагрузкой и «фрактальный» закон Ома / С.И. Клевцев, В.Ф. Клепиков, Г.Ф. Коняхин, З.Ю. Литвина, В.В. Литвиненко, В.Е. Новиков, А.М. Сотников // Радиотехника: Всеукраинский межведомственный научно-технический сборник. – Х.: ХНУРЭ. – 2002. – Вып.127. – С. 177-182.

4. Сотников А.М. Электродинамические свойства полупроводниковых радиоизотопных покрытий // Моделювання та інформаційні технології. – К.: НАНУ, Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Е. Пухова. – 2004. – Вип. 26. – С. 196-200.

5. Чинков В.М. Основы метрології та вимірювальної техніки: Підручник. – Х.: ХВУ, 2001. – 424 с.

*Поступила в редакцию 15.06.2006*

**Рецензент:** д-р техн. наук, ст. научн. сотр. В.И. Антюфеев, Объединенный научно-исследовательский институт Вооруженных Сил Украины, Харьков.