

УДК 621.3.011.22

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА ФРАКЦИЙ ВЛАГОСОДЕРЖАЩЕГО ПОРОШКООБРАЗНОГО ПЕРЛИТА НА ЕГО ЗНАЧЕНИЯ ПРОВОДИМОСТИ

О.В. БОЙПРАВ, Т.В. БОРБОТЬКО

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь

Поступила в редакцию 11 декабря 2015

Представлены результаты исследования влияния размера фракций порошкообразного перлита, в поры которого методом пропитки инкорпорирован водный раствор хлорида кальция с концентрацией 10...40 масс. %, на значения проводимости такого материала. Проанализированы его характеристики отражения и передачи электромагнитного излучения в диапазоне частот 0,7...17 ГГц.

Ключевые слова: коэффициенты отражения и передачи, электромагнитное излучение, перлит, проводимость, размер фракций.

Введение

Исследование закономерностей взаимодействия электромагнитного излучения (ЭМИ) с различными материалами является одной из важных задач, решаемых в целях разработки новых и повышения эффективности существующих конструкций электромагнитных экранов. Эти закономерности определяются электродинамическими и физическими параметрами материалов и влияют на значения их коэффициентов отражения (S_{11}) и передачи (S_{21}) ЭМИ в рабочем диапазоне частот.

К основным электродинамическим параметрам материалов относятся следующие: относительная диэлектрическая проницаемость (ϵ); относительная магнитная проницаемость (μ); проводимость (G). В [1] доказано, что чем выше величины ϵ и μ для магнитных или ϵ и G для проводящих материалов, тем выше значения их коэффициента отражения и ниже значения коэффициента передачи ЭМИ. К основным физическим параметрам материалов относятся следующие: толщина; высота геометрических неоднородностей поверхности (при их наличии); размер фракций (в случае, если этот материал либо один из его компонентов является порошкообразным). Согласно [2], чем больше толщина магнитного или проводящего материала, тем выше значения его коэффициента отражения ЭМИ (при условии, что этот параметр значительно меньше глубины проникновения излучения в материал) и ниже значения его коэффициента передачи ЭМИ. В [3] показано, что снижение значений коэффициента отражения ЭМИ материала возможно путем формирования на его поверхности геометрических неоднородностей. Геометрические неоднородности поверхности материалов обуславливают то, что поляризация падающей на них электромагнитной волны не совпадает с поляризацией отраженной волны. Происходит рассеяние отраженной волны, что обуславливает снижение значений коэффициента отражения ЭМИ материала [4]. Если материал является порошкообразным, то процесс взаимодействия с ним ЭМИ аналогичен дифракции этого излучения на мелкой решетке (при условии, что размер его фракций меньше длины электромагнитной волны). При этом на значения коэффициента отражения ЭМИ такого материала оказывают влияние как его электродинамические характеристики, так и размер его фракций. Для ряда порошкообразных материалов наблюдается также зависимость их электродинамических характеристик от размера фракций [3].

Цель настоящей работы заключалась в исследовании влияния размера фракций влагосодержащего порошкообразного перлита на значения его электропроводности, которая, в конечном итоге, обуславливает характеристики передачи и отражения ЭМИ такого материала.

Методика проведения эксперимента

Для проведения исследований использовался перлит трех типов. Перлит типа 1 характеризовался размером фракций $0,5 \pm 0,2$ мм (далее по тексту – 0,5 мм), типов 2 и 3 – 1...3 мм и $3 \pm 0,5$ мм (далее по тексту – 3 мм) соответственно [5]. Для получения образцов исследованного влагосодержащего порошкообразного перлита выполнялось следующее.

1. Инкорпорирование методом пропитки в поры порошкообразного перлита водного раствора хлорида кальция, концентрация которого составляла 10, 20, 30 или 40 масс. %. Соотношение масс порошкообразного перлита и водного раствора хлорида кальция – 1:4, что обусловлено максимальным значением массы жидкости, которую может впитать порошкообразный перлит с размером фракций 0,5...3 мм [6].

2. Стабилизация влагосодержания порошкообразного перлита путем его сушки при стандартных условиях [7]. Длительность процесса стабилизации влагосодержания порошкообразного перлита составила 3...9 суток в зависимости от типа порошкообразного перлита и концентрации инкорпорированного в его поры водного раствора хлорида кальция. Контроль влагосодержания порошкообразного перлита выполнялся гравиметрическим методом с использованием весов лабораторных класса точности 2 [8].

В табл. 1 представлены значения стабильного влагосодержания порошкообразного перлита (V , об. %) в зависимости от концентрации водного раствора хлорида кальция (C , масс. %).

Таблица 1. Значения стабильного влагосодержания порошкообразного перлита в зависимости от концентрации водного раствора хлорида кальция

Тип порошкообразного перлита	C , масс. %	V , об. %
1	10	14
1	20	24
1	30	29
1	40	47
2	10	7
2	20	14
2	30	22
2	40	26
3	10	4
3	20	8
3	30	14
3	40	15

Установлено, что увеличение с 10 до 40 масс. % концентрации водного раствора хлорида кальция, инкорпорированного методом пропитки в поры порошкообразного перлита типа 1, приводит к увеличению с 14 до 47 об. % значения его стабильного влагосодержания. Для перлита типов 2 и 3 при этом обеспечивается увеличение указанного параметра соответственно с 7 до 26 об. % и с 4 до 15 об. %. Порошкообразный перлит типа 1, в поры которого методом пропитки инкорпорирован водный раствор хлорида кальция с концентрацией 10...40 масс. %, по сравнению с перлитом типов 2 и 3 характеризуется большими значениями стабильного влагосодержания ввиду большей пористости [9].

Проводимость порошкообразного перлита определялась расчетным путем на основе формулы вида

$$G = \frac{1}{R}, \quad (1)$$

где R , [Ом] – величина сопротивления влагосодержащего порошкообразного перлита.

Для проведения измерений сопротивления влагосодержащего порошкообразного перлита использовалась измерительная система, включающая в себя следующие элементы:

– измерительная ячейка в виде параллелепипеда с размерами сторон $5 \times 50 \times 5$ мм;

- электроды, площадь которых равна площади меньших торцов измерительной ячейки;
- омметр и источник переменного тока.

На рис. 1 представлена схема соединения указанных элементов использованной измерительной системы.

Измерения сопротивления влагосодержащего порошкообразного перлита выполнялись в соответствии со следующими этапами.

1. Соединение элементов измерительной системы (в соответствии с рис. 1).
2. Заполнение порошкообразным перлитом измерительной ячейки таким образом, чтобы ее торцы полностью контактировали с его частицами.
3. Включение источника переменного тока.
4. Измерение значения сопротивления влагосодержащего порошкообразного перлита с помощью омметра [10].



Рис. 1. Схема соединения элементов измерительной системы при измерении сопротивления влагосодержащего порошкообразного перлита

Для измерения значений коэффициентов передачи и отражения ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц влагосодержащего порошкообразного перлита выполнялось заполнение им емкостей, изготовленных из радиопрозрачного материала. Расстояние между большими торцами этих емкостей составляло 10 мм. Измерения значений коэффициентов передачи и отражения ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц выполнялись согласно методике, представленной в [11].

Результаты и их обсуждение

В табл. 2 представлены полученные на основе результатов измерений и расчетов (1) значения проводимости порошкообразного перлита различного типа.

Таблица 2. Значения проводимости порошкообразного перлита различного типа

Тип порошкообразного перлита	1	2	3
Значение проводимости порошкообразного перлита, $\times 10^9$ См	9	13	17

Показано, что увеличение с 0,5 до 3 мм размера фракций порошкообразного перлита приводит к увеличению с $9 \cdot 10^{-9}$ до $17 \cdot 10^{-9}$ См проводимости такого материала. Это может быть обусловлено тем, что в перлите типа 3 содержится больший объем связанной воды по сравнению с перлитом типов 1 и 2, ввиду того, что процесс получения перлита типа 3 по сравнению с процессами получения перлита типов 1 и 2 характеризуется менее длительным выдерживанием влагосодержащей перлитовой породы в шахтной печи [12]. На рис. 2 представлены зависимости проводимости влагосодержащего порошкообразного перлита типов 1, 2 и 3 от концентрации водного раствора хлорида кальция, инкорпорированного методом пропитки в поры такого материала. Показано, что увеличение с 0,5 до 3 мм размера фракций порошкообразного перлита, в поры которого методом пропитки инкорпорирован водный раствор хлорида кальция с концентрацией 10 масс. %, приводит к снижению с $17 \cdot 10^{-6}$ до $6 \cdot 10^{-6}$ См проводимости такого материала, что обусловлено уменьшением величины его стабильного влагосодержания (табл. 1). Увеличение с 10 до 40 масс. % концентрации указанного раствора, вводимого в порошкообразный перлит, не приводит к существенному изменению его проводимости. Проводимость материала, содержащего жидкие среды, возрастает при увеличении объема и/или проводимости указанных сред. Увеличение концентрации водного раствора хлорида кальция приводит к снижению его проводимости [13].

При этом влагосодержание порошкообразного перлита, в поры которого инкорпорирован указанный раствор, возрастает. Указанные явления могут обуславливать незначительное изменение проводимости порошкообразного перлита при увеличении концентрации вводимого в него водного раствора хлорида кальция.

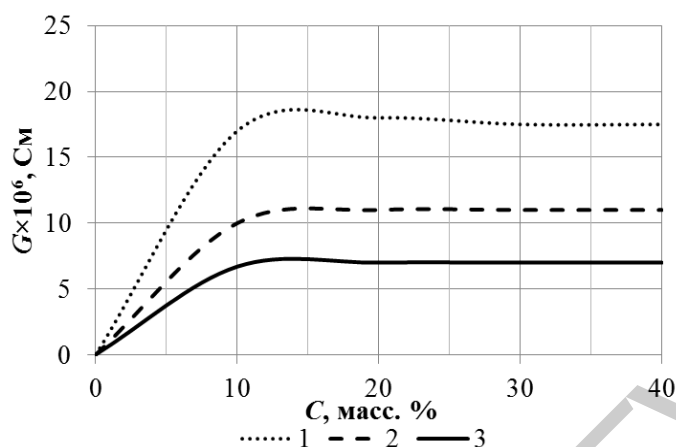


Рис. 2. Зависимости проводимости влагосодержащего порошкообразного перлита типов 1 (кривая 1), 2 (кривая 2) и 3 (кривая 3) от концентрации водного раствора хлорида кальция, инкорпорированного методом пропитки в поры такого материала

На рис. 3 представлены полученные в результате проведенных измерений частотные зависимости коэффициента передачи ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц порошкообразного перлита типов 1, 2 и 3, пропитанного 10%-м водным раствором хлорида кальция.

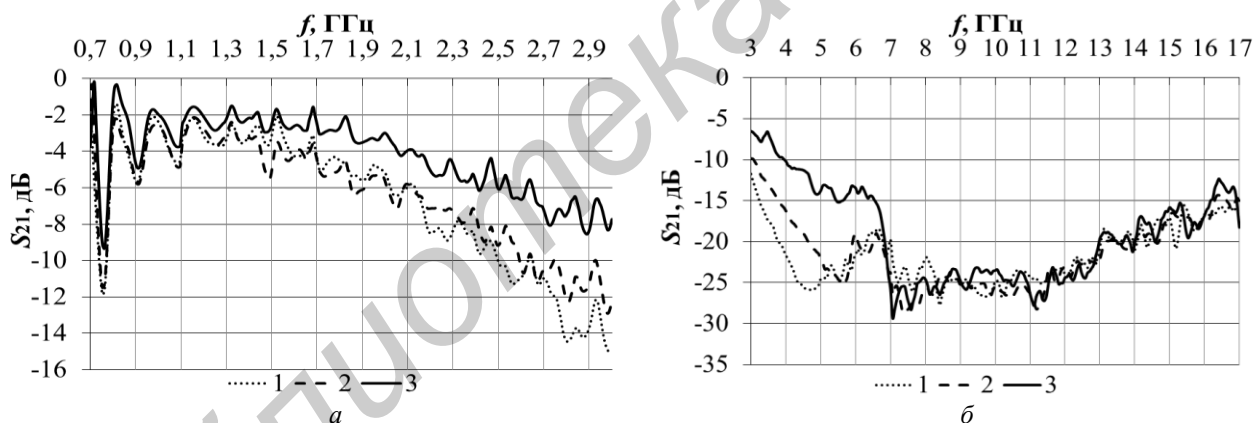


Рис. 3. Зависимости коэффициента передачи ЭМИ в диапазонах 0,7...3 ГГц (а) и 3...17 ГГц (б) порошкообразного перлита, типов 1 (кривая 1), 2 (кривая 2) и 3 (кривая 3), пропитанного 10%-м водным раствором хлорида кальция

Показано, что порошкообразный перлит с размером фракций 0,5 мм, в поры которого методом пропитки инкорпорирован водный раствор хлорида кальция с концентрацией 10 масс. %, характеризуется значениями коэффициента передачи ЭМИ в диапазонах частот 0,7...3 ГГц и 3...17 ГГц, составляющими соответственно $-2...-15$ дБ и $-15...-30$ дБ. Увеличение с 0,5 до 3 мм размера фракций такого порошкообразного материала перлита приводит к увеличению до $-2...-8$ дБ и $-8...-25$ дБ значений его коэффициента передачи ЭМИ в диапазонах частот 0,7...3 ГГц и 3...7 ГГц. Это связано с уменьшением проводимости такого порошкообразного материала [2]. Установлено, что увеличение с 10 до 40 масс. % концентрации водного раствора хлорида кальция, инкорпорированного методом пропитки в поры порошкообразного перлита, не приводит к существенному изменению значений его коэффициента передачи ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц. Это обусловлено тем, что проводимость указанного порошкообразного материала при этом остается практически неизменной. Установлено, что значения коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц исследованного

влажностоудержающего порошкообразного перлита типа 1 составляют –6...–10 дБ. Увеличение с 0,5 до 3 мм размера его фракций приводит к снижению до –6...–15 дБ значений его коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц.

Заклучение

Показано, что увеличение с 0,5 до 3 мм размера фракций порошкообразного перлита, в поры которого методом пропитки инкорпорирован водный раствор хлорида кальция с концентрацией 10 масс. %, приводит к снижению с $17 \cdot 10^{-6}$ до $6 \cdot 10^{-6}$ См значений проводимости такого материала, что обусловлено уменьшением значений его стабильного влагосодержания. Установлено, что увеличение с 10 до 40 масс. % концентрации водного раствора хлорида кальция, инкорпорированного методом пропитки в поры порошкообразного перлита с размером фракций 0,5...3 мм, не приводит к существенному изменению его проводимости и в связи с этим не оказывает существенного влияния на значения его коэффициента ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц. С использованием полученных результатов можно сделать вывод о том, что для снижения значений коэффициента передачи ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц конструкций электромагнитных экранов на основе порошкообразного перлита наиболее оптимальным представляется применение водного раствора хлорида кальция с концентрацией 10 масс. %. В [14] показано, что с использованием влагосодержающего порошкообразного перлита могут быть получены конструкции электромагнитных экранов, характеризующиеся низкими значениями коэффициента передачи ЭМИ в диапазоне частот от сотен мегагерц до десятков гигагерц и пониженной массой по сравнению с аналогами.

INFLUENCE OF WATER-CONTAINING POWDERED PERLITE FRACTIONS SIZE ON IT'S CONDUCTIVITY VALUES

O.V. VOIPRAV, T.V. BORBOTKO

Abstract

Research results of fractions size powdered perlite's, in the pores of which water solution of calcium chloride with a concentration of 10...40 wt. % is incorporated by impregnation method, on it's conductivity values are presented. Electromagnetic radiation reflection and transmission characteristics in frequency range 0.7...17 GHz of such material are analyzed.

Keywords: reflection and transmission coefficients, electromagnetic radiation perlite, conductivity, fraction size.

Список литературы

1. Шаниро Д.Н. Электромагнитное экранирование. Долгопрудный, 2010.
2. Родос Л.Я. Электродинамика и распространение радиоволн. СПб, 2007.
3. Алексеев А.Г., Штагер Е.А., Козырев С.В. Физические основы технологии Stealth. СПб, 2007.
4. Уфимцев П.Я. Метод краевых волн в физической теории дифракции. М., 1962.
5. ГОСТ 10832-91. Песок и щебень перлитовые вспученные. Технические условия.
6. Водопоглощение и гигроскопичность. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://confog.org.ua/vodopogloshhenie-i-gigroskopichnost/>. – Дата доступа: 10.12.2015.
7. McNaught A.D., Wilkinson A. Standard conditions for gases. IUPAC. Compendium of Chemical Terminology. Oxford, 1997.
8. ГОСТ 24104-2001. Весы лабораторные. Общие технические требования.
9. Адрианов Р.А., Пономарев Ю.Е. Пенопласты на основе фенолформальдегидных полимеров. Ростов, 1987.
10. Афанасьев Р.А., Аканов Э.Н., Сычев В.Г. и др. Способ определения удельной электропроводности почвы / Патент РФ № 2331070.
11. Радиозащищающие модульные конструкции на основе порошкообразных материалов / Под ред. Л.М. Лынькова. Минск, 2013.
12. Сергеев Е.М. Грунтоведение. М., 1983.
13. Горонковский И.Т., Назаренко Ю.П., Некряч Е.Ф. Краткий справочник по химии. Киев, 1987.
14. Бойправ О.В., Борботько Т.В., Лыньков Л.М. // Изв. НАН Беларуси. Сер. физ.-техн. наук. 2014. № 4. С. 9–13.