

УДК 621.385.6-049.65

## ЗАЩИТНЫЕ СВОЙСТВА ЭКРАНОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СВЧ-ДИАПАЗОНА НА ОСНОВЕ КОМБИНИРОВАННЫХ, ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ ПОРОШКОВЫХ КОМПОНЕНТОВ

Г.А. ПУХИР, М.Ш. МАХМУД, Н.В. НАСОНОВА, Л.М. ЛЫНЬКОВ

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

Поступила в редакцию 26 сентября 2011

Представлены результаты исследования влияния наличия в составе поглощающего материала на основе порошкообразного шунгита магнитных включений на значения характеристик ослабления и отражения электромагнитного излучения в диапазоне частот 8...11,5 ГГц. Приведены значения экранирующих характеристик в указанном частотном диапазоне образцов экранов на основе магнитных порошковых компонентов. Проведен сравнительный анализ исследуемых образцов. Предложено использование порошкообразного шунгита с добавками феррита для создания поглотителей электромагнитного излучения.

*Ключевые слова:* магнитные порошки, шунгит, экранирующие свойства, ферриты.

### Введение

В современной технике для защиты различных объектов от нежелательного воздействия электромагнитных излучений (ЭМИ) и локализации таких излучений в определенной зоне широко используются экранирующие конструкции из различных по составу и свойствам материалов. Выбор состава и параметров экранов зависит от предъявляемых к ним требований по различным критериям: рабочий диапазон частот, массогабаритные характеристики, стоимость, технологичность, срок службы при стабильной эффективности защиты и т.д. Поиск новых решений в создании высокоэффективных широкополосных экранирующих конструкций – актуальная задача современной науки и техники.

Порошкообразные углеродсодержащие материалы широко используются для создания конструкций экранов электромагнитного излучения с пониженными массогабаритными характеристиками и устойчивостью к коррозии. В [1, 2] показана эффективность использования для этих целей шунгитовых минералов. При этом актуальной задачей остается снижение доли отраженной энергии от поверхности экранов электромагнитного излучения. Следовательно, целью данной работы является исследование защитных свойств экранов ЭМИ на основе магнитных порошковых компонентов в составе композита.

### Эксперимент

Исследования проводились путем изготовления экспериментальных образцов, основу состава которых представляет магнитный порошок (феррит), шунгит и их сочетание. Герметизация образцов производилась с помощью полимерной пленки. В составе исследуемых образцов наличие жидкостных компонентов составляло не более 10% по объему при толщине образцов порядка 3 мм.

Для увеличения эффективности экрана, представляющего собой композиционный материал на основе шунгита, возможно добавлять магнитные включения для внесения дополнительных магнитных потерь. Это также позволит сократить долю отраженной от экрана энергии.

Дополнительное ослабление электромагнитного излучения вносит наличие в составе поглотителя водосодержащих компонентов [3, 4].

В работе был использован шунгит, состоящий на 68% из силикатов в форме оксида кремния и 29% глобулярного графитоподобного углерода, порошковые магнитные материалы – ферриты, вода, трикотажное полотно и связующее вещество. Порошкообразный шунгит с диаметром частиц порядка 10 мкм смешивался с порошкообразным NiZn-ферритом, состоящим из аналогичного размера частиц в процентном соотношении шунгит/магнитный порошок 70:30 соответственно. Для получения однородной структуры в полученную смесь порошков добавлялось небольшое количество воды до получения однородной вязкой массы. Герметизация образцов осуществлялась с помощью полиэтилена.

Для измерения экранирующих характеристик использовался панорамный измеритель ослабления и КСВН Я2Р-67 с ГКЧ-61 и волноводным трактом, который обеспечивает выделение и детектирование уровней падающей и отраженной волн электромагнитного излучения, прошедших и отраженных от образца. Калибровка оборудования перед началом измерений экранирующих характеристик производилась по стандартной методике. Для исследуемых образцов экспериментально были получены значения коэффициента передачи, который по абсолютной величине равен ослаблению ЭМИ, и коэффициента стоячей волны по напряжению, переведенного в коэффициент отражения в диапазоне частот 8...11,5 ГГц.

### Обсуждение результатов

Как видно из рис. 1,а, исследуемые композиты на основе магнитного порошка (образец №1), шунгита и их комбинации жидкостными включениями позволяют снизить уровень ЭМИ в среднем на 20 дБ. Существенного отличия между значениями ослабления для каждого из образцов не наблюдается. Максимальное ослабление до 25 дБ обеспечивает образец, в составе которого имеется порошкообразный шунгит без добавления магнитного порошка. Во всем измеряемом частотном диапазоне наблюдаются стабильные характеристики ослабления с небольшим колебанием относительно среднего значения до 5 дБ.

Коэффициент отражения исследуемых образцов также зависит от свойств компонентов конкретного образца. Проведенный анализ полученных характеристик коэффициента отражения позволяет сделать вывод о том, что коэффициент отражения от поверхности экрана на основе магнитного порошка с жидкими включениями, герметизированного полимерной пленкой, составляет –2 дБ, что обусловлено свойствами проводящих металлических и жидкостных включений. Образец поглотителя ЭМИ на основе порошкового шунгита характеризуется коэффициентом отражения в исследуемом диапазоне частот в размере –2...–3 дБ. Для образца поглощающего ЭМИ композита на основе комбинации порошкового шунгита и феррита характерен коэффициент отражения порядка –6 дБ в частотном диапазоне 8...11,5 ГГц.

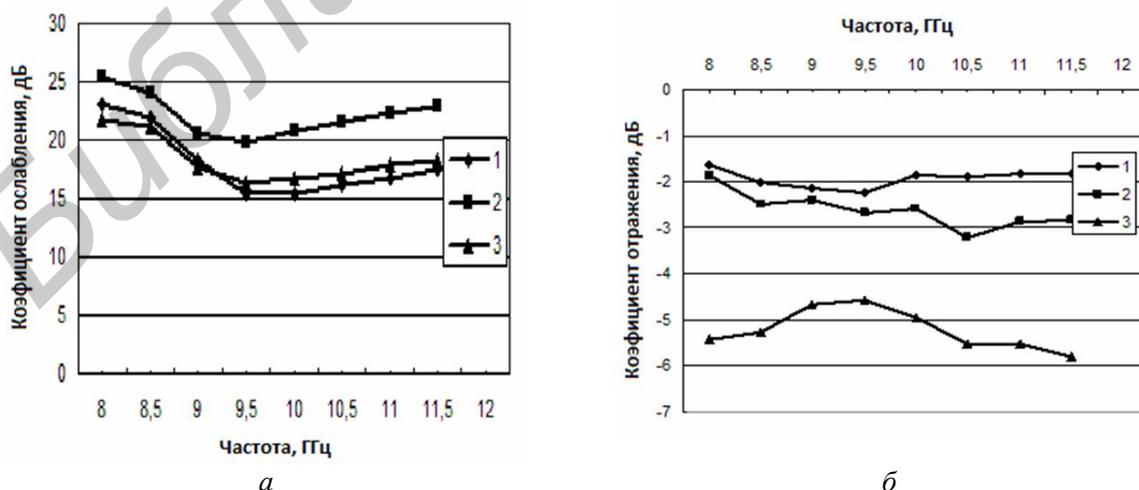


Рис. 1. Экранирующие характеристики образцов защитных экранов ЭМИ в диапазоне 8...12 ГГц: ослабление (а) и коэффициент отражения (б), выполненных на основе различных порошков с жидкостными включениями: 1 – магнитный порошок; 2 – шунгит; 3 – шунгит с добавлением феррита

Проведенные исследования измеренных экранирующих характеристик позволяют сделать вывод о том, что как магнитные порошки, так и порошкообразный шунгит обладают способностью ослаблять электромагнитные волны в СВЧ-диапазоне. Наличие в составе шунгитового поглощающего ЭМИ композиционного материала магнитных включений влияет на отражательную способность экрана. Установлено значительное снижение коэффициента отражения (рис. 1, б) для образца, герметизированного полиэтиленом, в составе которого 70% шунгит и 30% NiZn-феррит при достаточно высоком уровне ослабления порядка 20 дБ. Данное пропорциональное соотношение магнитных и диэлектрических компонентов было обосновано в работе [5].

### **Заключение**

Как показали исследования, магнитные порошковые материалы способны вносить ослабления ЭМИ в диапазоне СВЧ. Обладая определенной частотно зависимой магнитной проницаемостью, такие компоненты способны вносить магнитные потери энергии электромагнитной волны. Сочетание свойств таких составляющих конструкции экрана с диэлектрическими свойствами других компонентов позволяет согласовать волновые параметры экрана и окружающей его среды, что позволит снизить долю отражаемой энергии от поверхности такой защитной конструкции, что, в свою очередь, особо актуально в случае необходимости локализации ЭМИ в пространстве.

Снижение коэффициента отражения для образцов с определенным соотношением порошковых компонентов можно объяснить подбором значений магнитной и диэлектрической составляющих композита, что позволяет снизить значение волнового сопротивления среды экрана. Дополнительное ослабление за счет поглощения электромагнитного излучения композиционным материалом достигается путем введения водосодержащих компонентов.

Таким образом, можно сделать вывод, что исследуемые образцы обеспечивают снижение уровня ЭМИ в диапазоне 8...11,5 ГГц за счет наличия эффектов поглощения и отражения электромагнитных волн магнитными материалами. Исследуя магнитные и диэлектрические свойства компонентов поглотителей электромагнитного излучения на основе порошкового шунгита можно моделировать экранирующие конструкции с требуемыми значениями параметров ослабления и отражения. Также можно предположить возможность моделирования многослойных конструкций экранов с участием магнитных слоев на основе ферритовых порошков. Проведенный сравнительный анализ защитных свойств образцов экранов ЭМИ позволяет выбрать оптимальный состав наполнителя экрана электромагнитного излучения, исходя из требуемых условий эксплуатации такого экрана.

## **PROTECTIVE PROPERTIES OF SCREENS OF ELECTROMAGNETIC RADIATION OF A MICROWAVE RANGE ON THE BASIS OF THE COMBINED, DIELECTRIC AND MAGNETIC POWDER COMPONENTS**

H.A. PUKHIR, M.SH. MAHMOUD, N.V. NASONOVA, L.M. LYNKOV

### **Abstract**

Investigation results of the magnetic impurities in electromagnetic shield structure based on shungite effect on the values of electromagnetic attenuation and reflection in the range of 8...11,5 GHz are shown. In a specified frequency range the values of the shielding characteristics of electromagnetic radiation (EMR) absorbing sample on the basis of magnetic powder components are given. A comparative analysis of the samples was made. Using of powdery shungite with ferromagnetic impurities for designing electromagnetic absorbers with high shielding efficiency was made.

## Литература

1. Борботько Т.В., Калинин Ю.К., Колбун Н.В. и др. Углеродсодержащие минералы и области их применения. Минск, 2009.
2. Криштопова Е.А., Борботько Т.В., Лыньков Л.М. // Докл. БГУИР. 2007. №6. С. 3–7.
3. Пухир Г.А. // Материалы. докл. Междунар. науч.-тех. конф., посвящ. 45-летию МРТИ-БГУИР. 2009. С. 177–178.
4. Українець Е.А., Колбун Н.В. // Докл. БГУИР. 2003. №4. С. 115–118.
5. Pukhir H.A., Mahmoud M.Sh. // Proceedings of XXX-th General Assembly of the International Union of Radio Science in, Istanbul, Turkey, 13–20 August 2011 (CD-R).

Библиотека БГУИР