

УДК 004.056.5:621.315.6

## ЭКРАНЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПОРОШКООБРАЗНЫХ ОТХОДОВ ОЧИСТКИ ВАГРАНОЧНЫХ ГАЗОВ

О.В. БОЙПРАВ, М.Р. НЕАМАХ, В.Б. СОКОЛОВ

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

Поступила в редакцию 9 января 2012

Приводятся результаты исследований влияния шлама очистки ваграночных газов с фракциями различного размера на ослабление электромагнитных излучений частотного диапазона 0,8...16 ГГц. Показана целесообразность использования этих материалов для изготовления композиционных широкодиапазонных экранов электромагнитных излучений, обладающих низкой стоимостью.

*Ключевые слова:* композиционные экраны, коэффициент отражения электромагнитного излучения, коэффициент передачи электромагнитного излучения, мощность электромагнитного излучения, шлам очистки ваграночных газов.

### Введение

Современный этап развития общества характеризуется существенным возрастанием актуальности проблем обеспечения безопасности во многих сферах жизнедеятельности, в число которых входит и информационная сфера. Посредством ее в настоящее время реализуется значительная часть угроз безопасности. Поскольку для сбора конфиденциальных сведений, как правило, используются технические средства перехвата, то одним из важных направлений деятельности любого государства является защита информации от утечки по техническим каналам, которые образуются, например, за счет побочных электромагнитных излучений и наводок, создаваемых функционирующими в широком частотном диапазоне средствами обработки данных [1]. Это направление деятельности реализуется посредством разработки эффективных, широкодиапазонных, технологичных и удобных в эксплуатации экранов электромагнитных излучений (ЭМИ).

На сегодняшний день существует несколько способов их реализации [2]. Первый заключается в создании четвертьволновых конструкций, в которых слой поглощающего материала располагается на расстоянии  $\lambda/4$  перед проводящей поверхностью. Принцип работы таких экранов основан на явлении суперпозиции волн. В случае, когда волны, отраженные от поверхностей верхнего слоя и основы, на которую он нанесен, находятся в противофазе и одинаковы по амплитуде, происходит их взаимная компенсация. К недостаткам конструкций данного типа относятся узкополосность, ухудшение поглощающих свойств при наклонном падении электромагнитной волны, зависимость от поляризации и необходимость увеличения толщины при уменьшении частоты ЭМИ [3].

Для расширения рабочего диапазона частот используются экраны ЭМИ градиентного типа, характеристики которых ( $\epsilon$ ,  $\mu$  и  $tg \delta$ ) увеличиваются по мере проникновения ЭМИ вглубь материала. Недостатками этих конструкций являются сложность изготовления и необходимость использования радиопоглощающих материалов с толщиной кратной длине волны в свободном пространстве, что становится критичным для задач снижения отражений в области частот ниже 1 ГГц, особенно при ограничении на общие габаритные размеры экрана.

Наиболее простой способ изготовления экранов ЭМИ заключается во введении в материал компонента с отличной от нуля мнимой частью магнитной проницаемости  $\mu''$ . Наряду с электропроводящими наполнителями при создании подобного типа радиопоглощающих материалов, называемых композиционными, используются магнитные наполнители – порошкообразные ферриты.

Ферриты представляют собой химические соединения оксида железа ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) с оксидами других металлов. Одно из основных достоинств ферритов заключается в их высоком удельном электрическом сопротивлении ( $10^4 \dots 10^{12}$  Ом·см в зависимости от химического состава) в сочетании с достаточно высоким значением магнитной проницаемости. Эффективная удельная проводимость ферритов увеличивается с ростом частоты, т.к. существенную роль в проводимости играют токи смещения, возникающие в ферритах в переменных полях [4].

Применение ферритовых наполнителей в радиопоглощающих материалах является приемлемым, так как материал характеризуется высокой технологичностью и большими значениями магнитной проницаемости  $\mu''$ , которая позволяет обеспечить лучшее согласование металлических и поглощающих слоев со свободным пространством [5]. Этими же свойствами, наряду с низкой стоимостью, обладают и шламы очистки ваграночных газов (ШОВГ).

Целью работы является исследование экранирующих характеристик (коэффициентов отражения и передачи, уровня проходящей мощности ЭМИ) ШОВГ с фракциями различного размера.

### Методика проведения эксперимента

В качестве основных материалов для проведения исследования были взяты 3 вида ШОВГ, имеющих одинаковый состав и отличающихся друг от друга размером фракций: 30 мкм – крупные, 20 мкм – средние, 5 мкм – мелкие. ШОВГ представляет собой соединения оксидов металлов, наименования и процентные содержания которых приведены в таблице [6].

Состав ШОВГ

Оксид	$\text{SiO}_2$	$\text{CaO}$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{MgO}$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{SO}_3$	$\text{K}_2\text{O}$
Содержание, % по масс.	24,35	22,66	11,37	3,38	3,57	3,25	2,68	1,96

При проведении эксперимента ШОВГ помещались в кюветы, выполненные из органического стекла и имеющие расстояние между передней и задней стенками 8 мм.

Эффективность экранирования ЭМИ материалом оценивалась соотношением между напряженностями электрического поля в точке пространства при отсутствии и наличии в ней этого материала и характеризовалась коэффициентами отражения и передачи ЭМИ.

Для исследования экранирующих характеристик использовался панорамный измеритель коэффициентов передачи и отражения *SNA* 0,01–18, работающий по принципу раздельного выделения и непосредственного детектирования уровней падающей и отраженной волн. Измерения выполнялись с усреднением результата в 3 раза и включали в себя три этапа.

На первом этапе осуществлялась калибровка, во время проведения которой устанавливался оптимальный уровень мощности для работы детекторов измерителя. В данной модификации измерителя калибровка выполнялась автоматически.

Второй этап заключался в измерении коэффициентов передачи по схеме, изображенной на рис. 1. При этом генератор качающейся частоты (ГКЧ) измерителя формировал сигнал в заданной полосе частот и через блок *A/R* подавал его в передающую антенну. Блок обработки измерительных сигналов регистрировал ЭМИ, прошедшее через исследуемый образец.

Третий этап заключался в измерении коэффициентов отражения. При этом на выходе устанавливался короткозамыкатель, ГКЧ измерителя формировал сигнал в заданной полосе частот и через блок *A/R* подавал его в передающую антенну. Блок обработки измерительных сигналов регистрировал ЭМИ, отраженное от исследуемого образца. Относительная погрешность измерений составила  $\pm 1\%$ .

Измерения уровней мощности ЭМИ, прошедшей через ШОВГ, осуществлялись с помощью установки, схема которой представлена на рис. 2. Измерения включали в себя два этапа. На первом этапе осуществлялась калибровка, в процессе которой определялись уровни

мощности ЭМИ генератора в полосе частот 0,8...16 ГГц, соответствующие уровням мощности ЭМИ на приемной антенне в 1 мВт, 2 мВт, 3 мВт, 4 мВт и 5 мВт. При этом между передающей и приемной антеннами образец не устанавливался. С целью увеличения точности дальнейших измерений калибровка на каждой из частот проводилась десятикратно.

На втором этапе между антеннами размещался исследуемый материал и на каждой из частот с помощью генератора на передающей антенне поочередно формировались ЭМИ с уровнями мощности 1 мВт, 2 мВт, 3 мВт, 4 мВт и 5 мВт, и снимались показания измерителя РМ 0,01–39,5. Относительная погрешность измерений составила  $\pm 5\%$ .

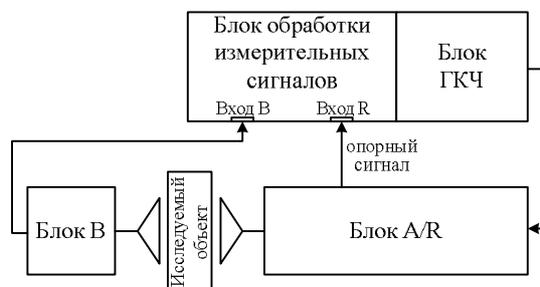


Рис. 1. Структурная схема измерительной установки SNA 0,01-18

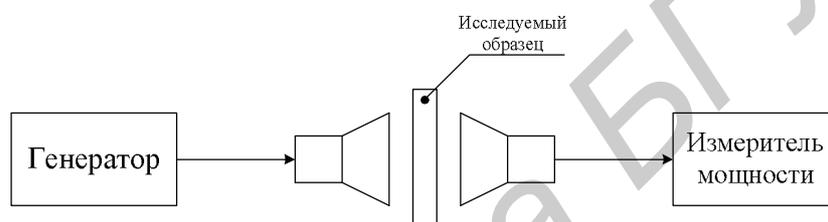


Рис. 2. Структурная схема измерения уровня мощности ЭМИ, прошедшей через защитный экран

### Результаты и их обсуждение

Частотные зависимости коэффициентов отражения ( $S_{11}$ ) и передачи ЭМИ ( $S_{21}$ ) для каждого из трех исследуемых видов ШОВГ приведены на рис. 3 и 4 соответственно.

Установлено, что из всех рассмотренных образцов более эффективное экранирование присуще ШОВГ с размером фракций 20 и 30 мкм: в диапазоне частот 1...16 ГГц значения коэффициентов отражения для данных материалов лежат в пределах  $-8...-16$  дБ, а коэффициентов передачи –  $-5...-16$  дБ.

Способность среды поглощать ЭМИ определяется ее электрическими и магнитными свойствами, к которым относятся удельная электропроводность, диэлектрическая и магнитная проницаемости [7]. Размер фракций влияет на величины удельного электрического сопротивления, магнитной и диэлектрической проницаемостей порошкообразных соединений оксидов металлов: при увеличении размера фракций увеличивается значение магнитной проницаемости, а значит, и возрастает уровень магнитных потерь энергии ЭМИ в порошке. Кроме того, при увеличении размера фракций увеличивается размер диэлектрического слоя между ними, а значит, увеличивается диэлектрическая проницаемость материала, ведущая к росту диэлектрических потерь энергии ЭМИ. Эти явления объясняют улучшение эффективности экранирования ШОВГ с возрастанием размера частиц [4].

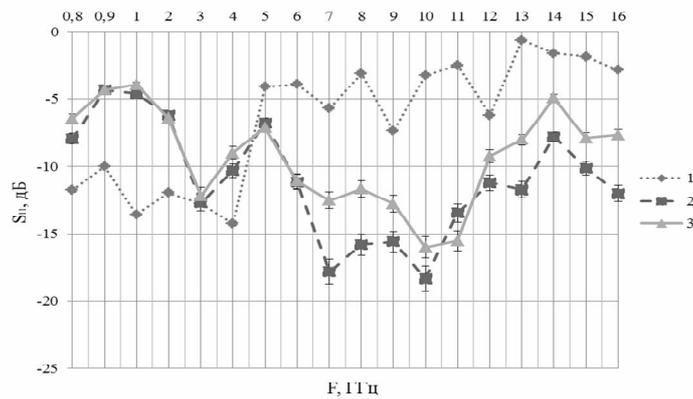


Рис. 3. Частотные зависимости коэффициентов отражения ШОВГ с размером фракций: 1 – 5 мкм, 2 – 20 мкм, 3 – 30 мкм

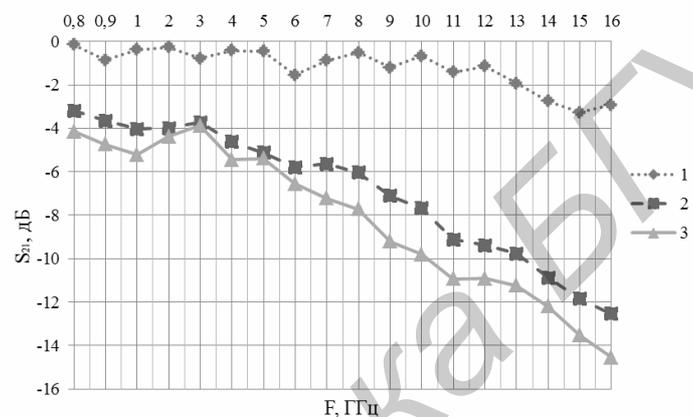


Рис. 4. Частотные зависимости коэффициентов передачи ШОВГ с размером фракций: 1 – 5 мкм, 2 – 20 мкм, 3 – 30 мкм

Частотные зависимости уровней прошедшей через каждый из исследованных видов ШОВГ мощности ЭМИ при разных уровнях падающей мощности представлены на рис. 5–7.

Из всех рассмотренных образцов более эффективное ослабление мощности ЭМИ обеспечивают ШОВГ с размером фракций 20 и 30 мкм. Это связано с тем, что данные материалы, как отмечалось выше, имеют более высокие, чем у порошков с размером фракций 5 мкм, значения диэлектрической и магнитной проницаемостей, а значит, и обеспечивают больший уровень потерь мощности ЭМИ.

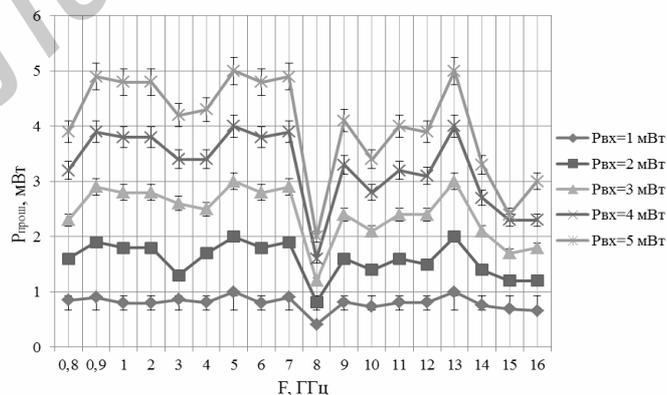


Рис. 5. Частотные зависимости уровня прошедшей мощности ЭМИ для ШОВГ с размером фракций 5 мкм

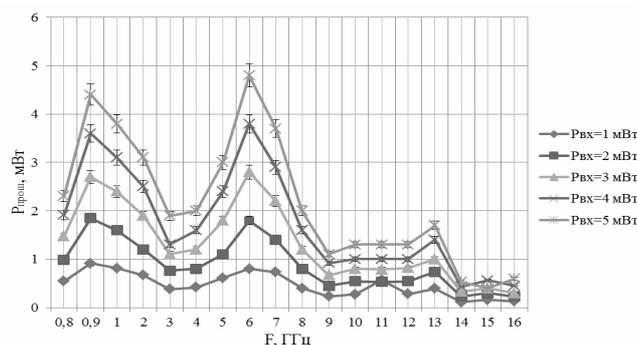


Рис. 6. Частотные зависимости уровня прошедшей мощности ЭМИ для ШОВГ с размером фракций 20 мкм

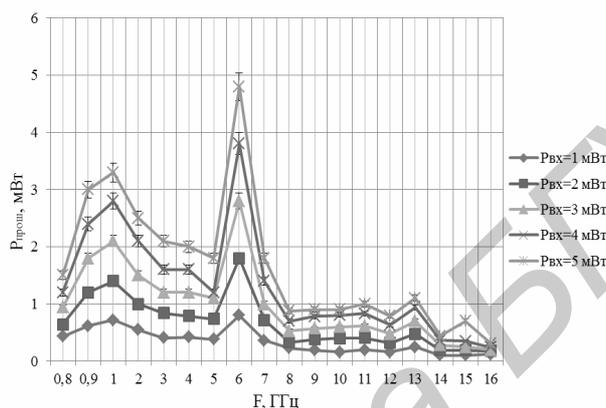


Рис. 7. Частотные зависимости уровня прошедшей мощности ЭМИ для ШОВГ с размером фракций 30 мкм

### Заключение

Установлено, что размер фракций ШОВГ оказывает влияние на экранирующие характеристики данных порошкообразных материалов. Это позволяет формировать на их основе конструкции экранов ЭМИ с требуемыми значениями коэффициентов передачи и отражения. Увеличение эффективности таких экранов в диапазоне частот до 10 ГГц возможно за счет создания многослойных конструкций.

Показано, что наибольшим ослаблением уровня прошедшей мощности ЭМИ обладают ШОВГ с размером фракции 30 мкм, что является перспективным для их использования в экранирующих ЭМИ панелях для внутренней отделки выделенных помещений и защиты информации от утечки по электромагнитному каналу. Порошкообразный ШОВГ является технологичным материалом, что позволяет формировать на его основе композиционные экраны ЭМИ, характеризующиеся широкодиапазонностью экранирующих свойств [8] и невысокой стоимостью.

## ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE SHIELDS ON THE BASIS OF POWDERY WASTE GAS CLEANING CUPOLA

O.V. BOIPRAV, M.R. NEAMAN, V.B. SOKOLOV

### Abstract

Results of researches of silt of the cupola gases clearing with the various fractions size influence on electromagnetic radiations easing on band 0,8 ... 16 GHz are resulted. The expediency of using these materials for manufacturing of the broadband composite screens possessing, having small values reflexion and transfer factors, high processability and low cost are shown.

### Список литературы

1. Хорев А.А. Способы и средства защиты информации. М., 2000.
2. Островский О.С., Одаренко Е.Н., Шматько А.А. // ФИП. 2003. №2. С. 161–173.
3. А.Г.Гуревич. Магнитный резонанс в ферритах и антиферромагнетиках. М., 1973.
4. Шольц Н.Н., Пискарев К.А. Ферриты для радиочастот. М., 1966.
5. Ковнеристый Ю.К., Лазарева И.Ю., Раваев А.А. Материалы, поглощающие СВЧ-излучения. М., 1982.
6. Протокол испытаний №5018 от 23.02.2011. НИИППРУП «Институт НИИСМ». Научно-исследовательская лаборатория физхимии силикатов.
7. Лыньков Л.М., Богуш В.А., Глыбин В.П. Гибкие конструкции экранов электромагнитного излучения. Мн., 2000.
8. Tsanov T., Mokreva P., Terlemezyan L. // *Polymers & Polymer Composites*. 1997. №7. P. 483–492.

Библиотека БГУИР