

УДК 537.5 : 661.66–026.771

МНОГОСЛОЙНЫЕ ЭКРАНЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПОРОШКООБРАЗНЫХ УГЛЕРОДОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ И ВСПУЧЕННОГО ПЕРЛИТА

О.В. БОЙПРАВ, Е.С. БЕЛОУСОВА, А.М.А. МОХАМЕД

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

Поступила в редакцию 30 января 2014

Предложена технология изготовления многослойных экранов электромагнитного излучения с использованием композиционных материалов на основе вспученного перлитового песка и порошкообразных углеродосодержащих материалов различного типа. Исследованы частотные зависимости ослабления и коэффициентов отражения электромагнитного излучения изготовленных по предложенной технологии экранов. Разработаны рекомендации по практическому применению таких экранов.

Ключевые слова: композиционный материал, перлит, технический углерод, шунгит, экран электромагнитного излучения, углеродосодержащие материалы.

Введение

Наиболее приемлемым способом обеспечения электромагнитной развязки устройств радиоэлектронного оборудования на сегодняшний день, как правило, является экранирование электромагнитного излучения (ЭМИ), сопровождающего их работу. Для создания экранов ЭМИ широко применяются композиционные материалы, которые представляют собой совокупность связующего вещества и закрепленного в нем порошка (наполнителя). В большинстве случаев параметры физических свойств композиционного материала (прочности при растяжении и сжатии, гибкости, диапазона температур эксплуатации, электропроводности, диэлектрической проницаемости и т.п.) превосходят аналогичные параметры его компонентов [1].

Управляемо изменять параметры прочности при растяжении и сжатии, гибкости, диапазон температур эксплуатации композиционного материала возможно путем изменения типа его связующего вещества, а параметры электропроводности, диэлектрической проницаемости, следовательно, и экранирующих характеристик (значений ослабления и коэффициентов отражения ЭМИ) – путем изменения состава его наполнителя.

Тип связующего вещества, наряду с вышеперечисленными параметрами физических свойств композиционного материала, также определяет способ использования последнего в рамках процессов создания экранов ЭМИ и технологичность этих процессов. В случае если связующим веществом композиционного материала является клеевой состав, такой материал используется в качестве соединяющего слоя в многослойных экранах ЭМИ, если строительный раствор (бетонный или гипсовый) – в качестве облицовочного материала для стен экранируемых от внешних ЭМИ помещений, если краски – в качестве покрытия для экранов ЭМИ. Изменение состава наполнителя композиционных материалов осуществляется в результате включения в него дополнительных компонентов (путем пропитывания наполнителя жидкостями либо формирования на его поверхности металлических кластеров) или его смешивания с другими порошками, которые способны обеспечить дополнительные потери энергии ЭМИ.

С использованием композиционных материалов изготавливаются одно- и многослойные экраны ЭМИ, а также экраны, обладающие геометрически неоднородной поверхностью. Как правило, наибольшими значениями ослабления и наименьшими значениями коэффициентов отражения ЭМИ среди экранов перечисленных разновидностей характеризуются многослойные. Однако такие экраны обладают существенным недостатком – значительной массой.

Цель настоящей работы заключалась в разработке технологии изготовления многослойных экранов ЭМИ, обладающих пониженными массогабаритными характеристиками. Для реализации указанной цели были решены следующие задачи.

1. Обоснован способ использования композиционного материала в рамках процессов изготовления многослойных экранов ЭМИ, обладающих пониженными массогабаритными характеристиками.

2. Выбраны связующее и наполнитель для формирования композиционных материалов для изготовления многослойных экранов ЭМИ, обладающих пониженными массогабаритными характеристиками.

3. Представлены основные этапы изготовления многослойных экранов ЭМИ и использованные в рамках данного процесса вспомогательные материалы.

4. Составлены рекомендации по практическому применению многослойных экранов ЭМИ, разработанных по разработанной технологии.

Методика проведения эксперимента

Чтобы обеспечить снижение массогабаритных характеристик многослойных экранов ЭМИ, необходимо снизить материалоемкость последних. Для этого в процессе формирования композиционных материалов, предполагаемых к использованию в целях изготовления многослойных экранов ЭМИ, в качестве связующего вещества наиболее приемлемо использовать краски. Толщина образуемых посредством таких материалов слоев в экранах ЭМИ, как правило, составляет 1...3 мм (в зависимости от размера фракций использованного в качестве наполнителя порошка).

В рамках настоящей работы в качестве связующего вещества для формирования композиционных материалов для изготовления многослойных экранов ЭМИ был использован огнезащитный состав «Агнитерм-М», а наполнителя – смесь порошкообразных вспученного перлита марки М150 (далее по тексту – перлит) и углеродосодержащего материала (шунгита, активированного угля или технического углерода). Выбор перлита в качестве компонента для наполнителя композиционных материалов обусловлен его диэлектрическими свойствами и малой насыпной плотностью (не более 150 кг/м³), а порошкообразных шунгита, активированного угля или технического углерода – их электропроводными свойствами.

Перлит представляет собой порошкообразный материал, получаемый термической обработкой измельченных слоев вулканического стекла (перлитовой либо обсидиановой пород). В состав перлита входят оксид кремния (70...75 масс. %), оксид алюминия (12...14 масс. %), связанная вода (до 6 масс. %), а также оксиды трехвалентного железа, натрия, калия, кальция и магния (до 5 масс. % каждого из перечисленных оксидов). Размер фракций перлита марки М150 составляет 1 мм [2, 3].

Каждый из углеродосодержащих порошкообразных материалов, использованных в процессе формирования смеси для наполнителя, характеризуется определенными свойствами и составом.

Шунгит относится к группе твердых углеродистых минеральных веществ, представляющих в основной массе аморфные разновидности углерода, близкие по составу к графиту. Он содержит 30...40 масс. % углерода, 35...50 масс. % оксида кремния, 10...25 масс. % оксида алюминия, до 5 масс. % оксидов калия, натрия, титана [4].

Активированный уголь по своему химическому составу схож с графитом. Он содержит 87...97 масс. % углерода, до 13 масс. % водорода, кислорода, азота и серы [5].

Технический углерод представляет собой мелкодисперсный углеродный материал, производимый термодеструктивными и окислительными методами. Он содержит 94,8...99,7 масс. % углерода, 0,2...0,9 масс. % водорода, до 0,15 масс. % серы [6].

Средний размер фракций использованных в процессе формирования композиционных материалов шунгита, активированного угля и технического углерода составляет 10 мкм. Измерение размера фракций проводилось с использованием фотоэлектрического окулярного микрометра ФОМ-2-16х.

Объемное соотношение связующего вещества и наполнителя в сформированных композиционных материалах составляло 2:1 (независимо от объемного соотношения компонентов и типа углеродосодержащего порошкообразного материала в наполнителе). При увеличении объемного содержания связующего вещества в композиционном материале ухудшаются экранирующие характеристики последнего, при уменьшении – прочностные характеристики. Общее количество сформированных композиционных материалов – 15. Каждый из них отличался определенным объемным соотношением компонентов в наполнителе и/или типом использованного для его изготовления углеродосодержащего материала.

Перечень компонентов наполнителя каждого из композиционных материалов и их объемное соотношение в нем представлены в таблице.

Объемные соотношения компонентов в наполнителе композиционных материалов

Наименование композиционного материала	Наименование использованного углеродосодержащего материала в наполнителе	Объемное соотношение перлита и углеродосодержащего материала в наполнителе, об. %
№ 1.1	Шунгит	90:10
№ 1.2		80:20
№ 1.3		70:30
№ 1.4		60:40
№ 1.5		50:50
№ 2.1	Активированный уголь	90:10
№ 2.2		80:20
№ 2.3		70:30
№ 2.4		60:40
№ 2.5		50:50
№ 3.1	Технический углерод	90:10
№ 3.2		80:20
№ 3.3		70:30
№ 3.4		60:40
№ 3.5		50:50

В качестве вспомогательных материалов для изготовления образцов многослойных экранов ЭМИ были использованы металлические и целлюлозные подложки. Технология изготовления образцов двухслойных экранов ЭМИ на основе сформированных композиционных и указанных вспомогательных материалов включала в себя следующие этапы.

1. Подготовка металлической подложки с требуемыми геометрическими размерами.
2. Очищение и обезжиривание поверхности подготовленной металлической подложки.
3. Нанесение на металлическую подложку сформированного композиционного материала одного из типов.

Технология изготовления образцов трехслойных экранов ЭМИ включала в себя следующие этапы.

1. Подготовка металлической подложки с требуемыми геометрическими размерами.
2. Подготовка целлюлозной подложки с требуемыми геометрическими размерами.
3. Нанесение на целлюлозную подложку сформированного композиционного материала одного из типов.
4. Очищение и обезжиривание поверхности подготовленной металлической подложки.
5. Закрепление целлюлозной подложки с нанесенным на нее композиционным покрытием на металлической подложке с использованием спрей-клея.

Толщина использованных для изготовления двух- и трехслойных экранов ЭМИ металлических подложек составляла 1 мм, а использованных для изготовления трехслойных экранов ЭМИ целлюлозных подложек – 3 мм. Толщина нанесения слоя композиционного материала в обоих случаях составляла 1 мм. При этом масса 1 м² металлической подложки – 0,72 кг, целлюлозной подложки – 0,5 кг, а слоя композиционного материала толщиной 1 мм – 0,5 кг.

Общее количество разработанных образцов экранов ЭМИ по предложенным технологиям – 30. Схемы изготовленных экранов ЭМИ приведены на рис. 1 и рис. 2.

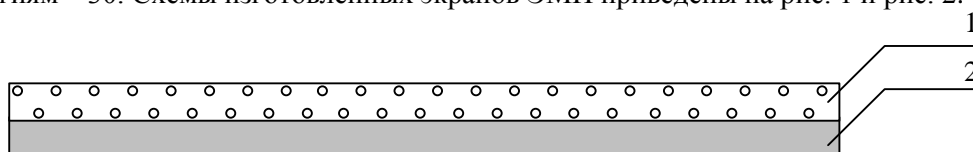


Рис. 1. Схема изготовленных образцов двухслойных экранов ЭМИ:
1 – композиционное покрытие; 2 – металлическая подложка

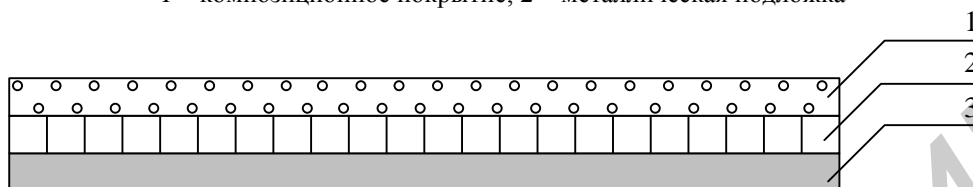


Рис. 2. Схема изготовленных образцов трехслойных экранов ЭМИ:
1 – композиционное покрытие; 2 – целлюлозная подложка; 3 – металлическая подложка

Измерения параметров экранирующих характеристик (частотных зависимостей ослабления и коэффициентов отражения ЭМИ) изготовленных по предложенным технологиям образцов экранов ЭМИ проводились с использованием панорамного измерителя КСВН и отражения Я2Р-67, согласно методике, представленной в [7]. Измерения проводились в частотном диапазоне 8...12 ГГц. В указанном частотном диапазоне функционируют конвертеры систем приема сигналов с однократным преобразованием частоты, интегральные схемы двухпозиционных СВЧ-коммутаторов радиоэлектронных устройств и т. п.

Результаты и их обсуждение

На основе анализа результатов проведенных измерений установлено, что значения коэффициентов отражения ЭМИ изготовленных образцов многослойных экранов составляет $-2,53 \dots -18,24$ дБ, а значения ослабления – более 40 дБ. При этом среди образцов двухслойных экранов ЭМИ наименьшими значениями коэффициентов отражения характеризуются образцы, изготовленные с использованием композиционных материалов № 1.3, № 2.3 и № 3.2, среди трехслойных – образцы, изготовленные с использованием композиционных материалов № 1.5, № 2.1, № 3.5. Частотные зависимости коэффициентов отражения ЭМИ данных образцов экранов представлены на рис. 3 и 4 (кривые 1 соответствуют частотным зависимостям коэффициентов отражения ЭМИ экранов, изготовленных с использованием композиционных материалов, наполнитель которых содержит шунгит, кривые 2 и 3 – экранов, изготовленных с использованием композиционных материалов, наполнитель которых содержит активированный уголь и технический углерод соответственно).

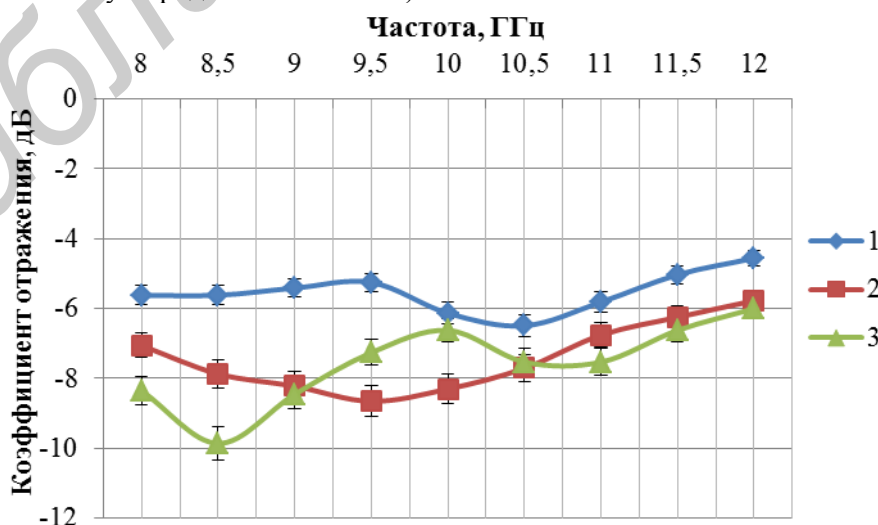


Рис. 3. Частотные зависимости коэффициентов отражения ЭМИ двухслойных экранов

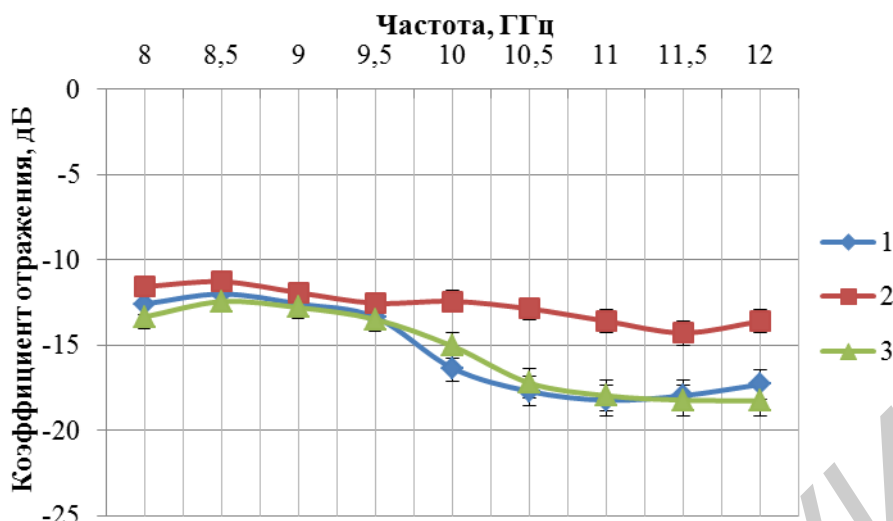


Рис. 4. Частотные зависимости коэффициентов отражения ЭМИ трехслойных экранов

В предложенных композиционных материалах частицы перлита и углеродосодержащего материала создают в наполнителе объемную решетку из коротких проводящих отрезков с диэлектрическими вставками [8]. Параметры отрезков такой решетки (значения высоты и толщины) зависят от объемного соотношения перлита и углеродосодержащего порошкообразного материала. Длина электромагнитных волн (ЭМВ) в частотном диапазоне, в котором проводились измерения, превышает величины параметров данной решетки. Следовательно, процесс взаимодействия ЭМВ с каждым из композиционных материалов, использованных в процессе изготовления многослойных экранов ЭМИ, аналогичен дифракции этих волн на мелкой решетке. ЭМВ, падающая на решетку, вызывает в ней перераспределение электрических зарядов и токов, характеризуемое дипольными (или мультипольными) электрическими и магнитными моментами. Создаваемое ими рассеянное поле имеет вблизи решетки квазистатический характер. Оно практически совпадает с полем статических диполей, моменты которых равны мгновенным значениям моментов индуцированных диполей. Как правило, последние не зависят от частоты ЭМВ. Вдали от решетки рассеянное электромагнитное поле имеет вид расходящейся сферической ЭМВ. С ростом частоты ЭМВ уменьшаются амплитуда рассеянного поля и угол его рассеяния, что обуславливает уменьшение точек пространства, в которых оно локализуется. Значение амплитуды рассеянного частицами электромагнитного поля пропорционально величине r^6 / λ^4 , где r – средний радиус частиц, образующих рассеивающую решетку, λ – длина ЭМВ. Кроме того, на значение амплитуды рассеянного электромагнитного поля оказывают влияние электродинамические параметры частиц (электропроводности, диэлектрической проницаемости и т. п.) [9–11]. Таким образом, амплитуда ЭМИ, отраженного изготовленными многослойными экранами, представляет собой разность амплитуд ЭМИ, отраженного металлической подложкой, и ЭМИ, рассеянного частицами наполнителя композиционного материала. При этом величина ЭМИ, рассеиваемого данными материалами, определяется соотношением в его наполнителе перлита и углеродосодержащего порошкообразного материала, а также типом последнего. Двухслойный экран ЭМИ, изготовленный на основе композиционного материала № 1.3, характеризуется меньшими значениями коэффициентов отражения ЭМИ (рис. 3) в связи с тем, что шунгит содержит меньше углерода, а значит, обладает меньшей электропроводностью и в силу этого обеспечивает меньшее рассеяние электромагнитного поля, по сравнению с активированным углем и техническим углеродом. Трехслойные экраны характеризуются меньшими значениями коэффициентов отражения ЭМИ по сравнению с двухслойными. Это обусловлено дополнительными потерями в трехслойных экранах ЭМИ энергии отраженных ЭМВ, связанными с многократным переотражением последних от границ раздела композиционный материал–целлюлозная подложка, целлюлозная подложка–металлическая подложка. Образец трехслойного экрана, изготовленного на основе композиционного материала № 2.1, характеризуется более высокими значениями

коэффициентов отражения ЭМИ по сравнению с образцами трехслойных экранов, изготовленных на основе композиционных материалов № 1.5 и № 3.5 (рис. 4), в связи с тем, что в композиционном материале № 2.1 содержится больше частиц перлита, обеспечивающих ввиду своего размера большее рассеяние электромагнитного поля, по сравнению с частицами наполнителя композиционных материалов № 1.5 и № 3.5.

Заключение

С использованием многослойных экранов ЭМИ, технология изготовления которых предложена в рамках настоящей работы, могут формироваться следующие изделия.

1. Облицовочные панели для стен помещений, в которых размещается радиоэлектронное оборудование, подверженное воздействию внешних электромагнитных помех.

2. Экранирующие перегородки для функционального зонирования серверных комнат.

3. Пространственно-замкнутые контейнеры для радиоэлектронного оборудования, которые будут обеспечивать снижение уровня его побочных ЭМИ, а также защиту его компонентов от воздействия внешних электромагнитных помех.

Так как связующим веществом композиционных материалов, предложенных к использованию для формирования многослойных экранов ЭМИ, является огнезащитный состав, то изготавливаемые на основе таких экранов изделия будут характеризоваться, наряду с эффективностью ослабления энергии ЭМИ, еще и огнеупорными свойствами. Кроме того, предложенные композиционные материалы могут наноситься на корпуса радиоэлектронного оборудования.

MULTILAYER ELECTROMAGNETIC RADIATION SHIELDS BASED ON POWDERED CARBON MATERIALS AND EXPANDED PERLITE

O.V. VOIPRAV, E.S. BELOUSOVA, A.M.A. MOHAMED

Abstract

The technology of multilayer electromagnetic radiation shields production with use of composite materials on the basis of expanded perlite sand and powdered carbon materials of various types is proposed. The electromagnetic radiation attenuation and reflection of coefficients frequency dependences of shields produced by the proposed technology are investigated. The recommendations for the practical application of such screens are developed.

Список литературы

1. Юскаев В.Б. Композиционные материалы. Сумы, 2006.
2. ГОСТ 25226-96. Щебень и песок перлитовые для производства вспученного перлита. Технические условия.
3. Мелконян Р.Г. Аморфные горные породы – новое сырье для стекловарения и строительных материалов. М., 2002.
4. Шунгитосодержащие композитные экраны электромагнитного излучения / Под ред. Л.М. Лынькова. Минск, 2013.
5. Активированный уголь, описание. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.chemsystem.ru/aktivirovannuu_ugol/. – Дата доступа: 27.01.2014.
6. Ивановский В.И. Технический углерод. Процессы и аппараты: Омск, 2004.
7. Бойправ О.В., Борботько Т.В., Пухир Г.А. // Электроника инфо. 2013. № 6. С. 99–101.
8. Малый С.В. Численное моделирование взаимодействия электромагнитного излучения с периодическими структурами и композиционными материалами: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Минск, 1997.
9. Фок В.А. Проблемы дифракции и распространения электромагнитных волн. М., 1970.
10. Степаненко В.Д. Радиолокация в метеорологии, Л., 1966.
11. Ерохин Г.А., Чернов О.В., Козырев Н.Д. и др. Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн. М., 2007.