

Учреждение образования
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

УДК [537.531: 669.112.227.322]: 004.056

БОЙПРАВ
Ольга Владимировна

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЭКРАНЫ
НА ОСНОВЕ ПОРОШКООБРАЗНОГО ПЕРЛИТА
ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.13.19 – Методы и системы защиты информации,
информационная безопасность

Минск 2017

Работа выполнена в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Научный руководитель **Борботько Тимофей Валентинович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой защиты информации учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Официальные оппоненты: **Грабчиков Сергей Степанович**, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник ГНПО «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению»

Филиппович Андрей Геннадьевич, кандидат технических наук, заместитель начальника отдела Оперативно-аналитического центра при Президенте Республики Беларусь

Оппонирующая организация Научно-исследовательское учреждение «Научно-исследовательский институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко БГУ»

Защита состоится «2» марта 2017 г. в 14⁰⁰ на заседании совета по защите диссертаций Д 02.15.06 при учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, г. Минск, ул. П. Бровки, 6, корп. 1, ауд. 232, тел. 293-89-89, e-mail: dissovet@bsuir.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Автореферат разослан «27» января 2017 г.

Ученый секретарь совета по защите диссертаций, кандидат технических наук, доцент



Н.В. Насонова

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время процесс обработки информации ограниченного распространения выполняется с помощью средств вычислительной техники (СВТ), которые в ходе своего функционирования создают побочное электромагнитное излучение (ПЭМИ), обуславливающее образование канала утечки. Для защиты информации от перехвата по этому каналу используются технические средства, обеспечивающие снижение радиуса контролируемой зоны (РКЗ) ПЭМИ СВТ, выполняющих ее обработку. Указанный параметр обуславливает максимальное расстояние, с которого возможен перехват данных в канале ПЭМИ. Для противодействия такой угрозе информационной безопасности используются генераторы электромагнитного шума, ввиду их невысокой стоимости. Однако электромагнитное излучение (ЭМИ), формируемое такими техническими средствами, вносит помехи в работу оборудования, размещаемого в зоне их действия, и негативно влияет на здоровье человека. Для другой группы технических средств защиты информации – электромагнитных экранов – указанные недостатки не характерны, ввиду того, что такие средства обеспечивают снижение уровня ПЭМИ СВТ. Электромагнитные экраны применяют для создания помещений, в которых располагаются СВТ, выполняющие обработку информации. Для изготовления экранов в настоящее время широко используются металлические материалы, ввиду их высокого значения ослабления электромагнитного излучения. Однако в помещениях, для экранирования которых использованы металлические материалы, могут формироваться стоячие электромагнитные волны (ЭМВ), влияющие на электромагнитную совместимость располагаемых в таких помещениях радиоэлектронных устройств, в том числе СВТ. В целях снижения амплитуды таких волн выполняют монтаж на стены помещений экранов, изготовленных на основе магнитных материалов. Недостатком этих материалов является узкий рабочий диапазон частот. Исключение такого недостатка обеспечивается путем изготовления на их основе экранов в виде многослойных конструкций. Однако это обуславливает увеличение их массы на единицу площади, которая в ряде случаев может превышать несущую способность стен помещений.

Электромагнитные экраны используются также в целях одновременного снижения заметности военной техники в оптическом и радиолокационном диапазонах длин ЭМВ. Такие экраны представляют собой многослойные конструкции либо покрытия, наносимые на корпуса скрываемой техники. Однако процесс их изготовления характеризуется значительными временными и финансовыми затратами. Это обуславливает актуальность получения однослойных электромагнитных экранов, обеспечивающих снижение заметности военной техники в указанных диапазонах длин ЭМВ.

В работе представлены результаты разработки и исследования электромагнитных экранов на основе порошкообразного перлита, характеризующихся пониженной массой и стоимостью по сравнению с аналогами.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами и темами

Тема диссертационной работы утверждена приказом ректора учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» от 22.12.2012 г. № 453-о и соответствует пункту 13 «Безопасность человека, общества и государства» приоритетных направлений фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2016–2020 годы, утвержденных Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 12.03.2015 г. № 190.

Работа выполнялась в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» в рамках научно-исследовательских работ по следующим темам:

1. «Разработка технологии и оборудования для производства электромагнитных экранов на тканой или волокнистой основе», шифр «Компомат-8», по научно-технической программе Союзного государства «Разработка инновационных технологий и техники для производства конкурентоспособных композиционных материалов, матриц и армирующих элементов на 2012–2016 годы», шифр «Компомат» (ХД 12-1133, № г.р. 20132620).

2. «Оценка взаимодействия высокоинтенсивного электромагнитного излучения с экранами на основе резистивных, диэлектрических и магнитных материалов» (ГБЦ 14-3129, № г.р. 20142476).

3. «Исследование эффективности экранирования экспериментальных образцов составных широкополосных электромагнитных экранов» в рамках выполнения работ по заданию «Разработать технологию формирования и создать экспериментальные образцы экранов для защиты бортовых систем космических аппаратов от электромагнитных воздействий искусственного и природного происхождения» мероприятия 2.4 программы Союзного государства «Разработка космических и наземных средств обеспечения потребителей России и Беларуси информацией дистанционного зондирования Земли» («Мониторинг-СГ») (ХД 16-1006, № г.р. 20160454).

Цель и задачи исследования

Целью диссертационной работы является установление закономерностей влияния размера фракций порошкообразного перлита и добавляемых к нему компонентов на значения его ослабления и коэффициента отражения электромагнитного излучения и создание электромагнитных экранов, характеризующихся пониженной массой на единицу площади по сравнению с аналогами.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи.

1. Исследовать значения ослабления и коэффициента отражения электромагнитного излучения порошкообразного перлита в зависимости от размера его фракций, концентрации водных растворов, вводимых в него

методом пропитки, и материала матриц, в которых он закрепляется.

2. Выполнить экспериментальное обоснование состава материалов для электромагнитных экранов, обеспечивающих снижение радиуса контролируемой зоны побочного электромагнитного излучения средств вычислительной техники, и рассчитать величины такого параметра.

3. Исследовать характеристики спектральной яркости и степени поляризации электромагнитных экранов на основе порошкообразного перлита в зависимости от размера его фракций.

4. Разработать рекомендации по практическому применению электромагнитных экранов и исследовать влияние температуры и влажности воздуха в помещении, где эксплуатируются такие экраны, на значения их ослабления и коэффициента отражения электромагнитного излучения.

Научная новизна

1. Установлены линейное увеличение с $0,007...0,014$ до $5,4...13,6$ См/м удельной электропроводности порошкообразного перлита с размером фракций $0,5\pm 0,2...3\pm 0,5$ мм при увеличении с 1 до 10 масс. % концентрации вводимого в него методом пропитки водного раствора хлорида кальция и стабилизация удельной электропроводности порошкообразного перлита при увеличении с 10 до 40 масс. % концентрации указанного раствора.

2. Установлено увеличение с 0,4 до 0,7 отн. ед. коэффициента спектральной яркости композиционных материалов на основе порошкообразного перлита при уменьшении с $3\pm 0,5$ до $0,5\pm 0,2$ мм размера его фракций за счет увеличения с 40 ± 5 до 105 ± 10 мкм высоты выступов и глубины впадин поверхности таких материалов.

Положения, выносимые на защиту

1. Уменьшение с 40 до 10 масс. % концентрации водного раствора хлорида кальция, вводимого методом пропитки в поры порошкообразного перлита с размером фракций $0,5\pm 0,2...3\pm 0,5$ мм, приводит к снижению с $-3...-5$ дБ до $-6...-10$ дБ значений коэффициента отражения электромагнитного излучения в диапазоне частот $0,7...17$ ГГц конструкций электромагнитных экранов, выполненных в виде емкостей толщиной 1 см, заполненных таким материалом, за счет снижения с 47 до 14 об. % его влагосодержания и не оказывает существенного влияния на значения их ослабления ($15...25$ дБ), так как при этом удельная электропроводность порошкообразного перлита остается практически неизменной ($5,4...13,6$ См/м в зависимости от размера его фракций), что позволяет предложить использование таких конструкций в целях создания панелей, характеризующихся массой на единицу площади $1...2,9$ кг/м² и предназначенных для отделки стен экранируемых помещений.

2. Введение порошкообразного перлита (50 об. %) в конструкции электромагнитных экранов (толщина – 1...3 см), выполненных в виде емкостей, заполненных порошкообразным титаномагнетитом, позволяет снизить с -4 до -10 дБ значения их коэффициента отражения электромагнитного излучения

в диапазоне частот 0,7...17 ГГц (при использовании металлического отражателя) за счет уменьшения с 13,5 до 8,5 значения относительной магнитной проницаемости материала таких конструкций, что позволяет предложить их использование для облицовки стен помещений, экранированных металлическими листами, в целях снижения энергии стоячих электромагнитных волн в таких помещениях.

3. Экспериментальное обоснование конструкций электромагнитных экранов с рельефной поверхностью (высота элементов рельефа – 5,5 см), основанных на введении порошкообразного перлита в гипсовую матрицу, характеризующихся значениями ослабления электромагнитного излучения в диапазоне частот 0,7...17 ГГц 15...35 дБ и коэффициента отражения электромагнитного излучения в диапазоне частот 0,7...3 ГГц (при использовании металлического отражателя) не менее –25 дБ, что обуславливает уменьшение такими конструкциями радиуса контролируемой зоны побочного электромагнитного излучения до 13,5 раз и позволяет рекомендовать их использование для создания отделочных модулей для экранирования помещения, характеризующихся массой на единицу площади в 2...4 раза меньшей по сравнению с аналогами.

4. Введение порошкообразного перлита с размером фракций $0,5 \pm 0,2 \dots 3 \pm 0,5$ мм в силиконовый герметик (объемное соотношение 1:1) позволяет создавать композиционные материалы, характеризующиеся коэффициентом спектральной яркости, значения которого уменьшаются с 0,7 отн. ед. до 0,4 отн. ед. в диапазоне длин электромагнитных волн 400...1000 нм при увеличении рамера фракций вводимого порошкообразного перлита за счет возрастания с 40 ± 5 до 105 ± 10 мкм высоты выступов и глубины впадин поверхности таких материалов, что позволяет рекомендовать их использование для скрытия наземных объектов на фоне сухого снега с настом и песков.

Личный вклад соискателя ученой степени

Все основные результаты, изложенные в диссертационной работе, получены соискателем самостоятельно. В совместно опубликованных работах соискателю принадлежат определение целей и постановка задач исследования, выбор методов исследования, непосредственное участие в проведении экспериментов по разработке конструкций электромагнитных экранов и изучении их свойств, а также обработка, анализ и интерпретация полученных результатов, формулировка выводов.

Основными соавторами опубликованных работ являются научный руководитель, доктор технических наук, профессор Борботько Т. В., а также доктор технических наук, профессор Лыньков Л. М., которые принимали участие в планировании работ и обсуждении результатов. Кандидат технических наук, доцент Казека А. А., кандидат технических наук, доцент Беяев Ю. В., кандидат технических наук Джамаль Саад Омер и магистр технических наук, исследователь Столер Д. В. принимали участие

в обсуждении результатов исследования характеристик спектральной яркости и степени поляризации электромагнитных экранов на основе порошкообразного перлита, кандидат технических наук Белоусова Е. С. и аспирант Мохамед А. М. А. оказывали содействие при интерпретации результатов исследования образцов электромагнитных экранов на основе порошкообразных перлита и электропроводящих материалов, аспирант Ганьков Л. Л., магистранты Мишковец Е. А., Безмен В. В. принимали участие в настройке оборудования, использованного для измерения мощности электромагнитного излучения, пропускаемого образцами экранов, а магистрант Аль-Мамури А. А. А. – оборудования для измерения напряженности побочного электромагнитного излучения средств вычислительной техники. Результаты, полученные без вклада соискателя, в работу не вошли.

Апробация результатов диссертации

Основные положения и результаты диссертации докладывались и обсуждались на научных и научно-практических конференциях разного уровня: IV Международной научно-практической молодежной конференции «Научные стремления» (Минск, 2013); Международном научно-техническом семинаре «Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных» (Минск, 2013); II Международной научно-практической конференции «Информационные системы и технологии: управление и безопасность» (Тольятти, 2013); III Международной научно-практической конференции «21 century: fundamental science and technology: materials» (Москва, 2014); Международной научно-технической конференции, приуроченной к 50-летию МРТИ–БГУИР (Минск, 2014); XVIII Международном молодежном форуме «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке» (Харьков, 2014); III Республиканской научной конференции студентов, магистрантов и аспирантов «Актуальные вопросы физики и техники» (Гомель, 2014); Заседании студенческой научной молодежи «Первый шаг в науку» (Минск, 2014); XV Международной молодежной научно-технической конференции «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций» (Севастополь, 2014); 24-й Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2014)» (Севастополь, 2014); XVIII Международной научно-технической конференции «Современные средства связи» (Минск, 2014); XI Международной научно-практической конференции «Управление информационными ресурсами» (Минск, 2014); III Международной научно-практической конференции «Технологии информатизации и управления» (Гродно, 2016); XIV Белорусско-российской научно-технической конференции «Технические средства защиты информации» (Минск, 2016).

Опубликование результатов диссертации

По результатам исследований, представленным в диссертации, опубликовано 28 работ, в том числе 1 глава в монографии (1,13 авторских листов), 7 статей в научных журналах, 7 статей в сборниках материалов конференций, 13 тезисов докладов. Получен 1 патент Республики Беларусь на полезную модель, оформлена 1 заявка на патент Республики Беларусь на изобретение.

Общий объем публикаций по теме диссертации, соответствующих пункту 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, составляет 2,83 авторских листа.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав с выводами по каждой главе, заключения, библиографического списка и четырех приложений. Общий объем диссертационной работы составляет 190 страниц, из которых 100 страниц текста, 144 рисунка на 45 страницах, 25 таблиц на 12 страницах, библиографический список из 140 источников и 30 собственных публикаций автора на 15 страницах, 4 приложения на 18 страницах.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В первой главе приведены результаты обзора научно-технической литературы по теме диссертационной работы. Рассмотрены особенности формирования канала ПЭМИ, обоснована актуальность применения в целях защиты информации от утечки по указанному каналу электромагнитных экранов, обеспечивающих уменьшение РКЗ ПЭМИ в диапазоне частот от сотен мегагерц до нескольких единиц гигагерц. Описаны основные материалы, используемые в настоящее время для изготовления электромагнитных экранов, обеспечивающих защиту информации от утечки по каналу ПЭМИ, а также одновременное скрытие объектов в оптическом и радиолокационном диапазонах длин волн. Проанализированы преимущества и недостатки, характерные для таких материалов, обоснована целесообразность применения порошкообразного перлита в качестве наполнителя для них.

Во второй главе представлены методики проведения экспериментов. Приведены описания методик изготовления образцов электромагнитных экранов на основе порошкообразного перлита, а также методик исследования влияния температуры и влажности воздуха на значения их ослабления и коэффициента отражения ЭМИ. Кроме того, представлены особенности использования измерительного оборудования, такого как:

– панорамный измеритель коэффициентов передачи и отражения SNA 0,01–18 в комплексе с антеннами типа П6–23М (для измерения значений ослабления и коэффициента отражения ЭМИ образцов, а также

уровней мощности пропускаемого ими излучения);

- аппаратно-программный комплекс, состоящий из анализатора спектра Agilent E7404, направленной антенны HE 300 и персонального компьютера, и разработанный портативный измерительный стенд, который использовался совместно с указанным аппаратно-программным комплексом и позволял определить с точностью 5° угол расположения СВТ относительно измерительной антенны, при котором амплитуда его излучения максимальна (для измерения величин параметров, использованных при расчете РКЗ ПЭМИ);

- система, включающая в себя измерительную ячейку, электроды, омметр и источник переменного тока (для измерения параметров, использованных для расчета удельной электропроводности образцов);

- вибрационный магнитометр Cryogenic 14T Vibrating Sample Magnetometer (для измерения величин параметров, использованных для расчета относительной магнитной проницаемости образцов);

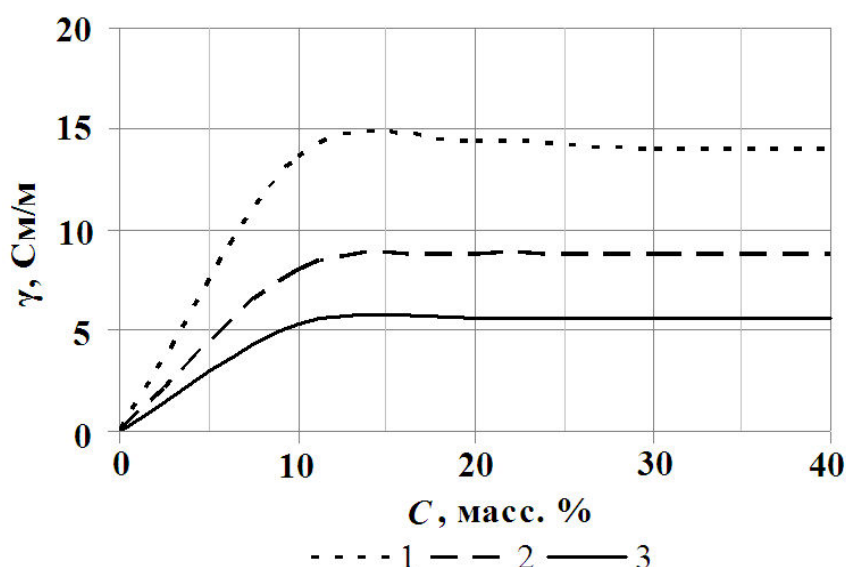
- спектрорадиометр ПСР-02 (для измерения значений коэффициента спектральной яркости (КСЯ) и степени поляризации (СП) образцов);

- фотоэлектрический окулярный микрометр ФОМ-2-16 в комплексе с металлографическим агрегатным микроскопом МЕТАМ-Р1 (для измерения параметров элементов микрорельефа поверхности образцов).

В третьей главе представлены результаты исследования влияния размера фракций порошкообразного перлита, концентрации водного раствора хлорида кальция, введенного в него методом пропитки, а также материала матрицы, в которой он закрепляется, на его характеристики ослабления и отражения ЭМИ. Установлено, что увеличение с $0,5 \pm 0,2$ (далее по тексту – 0,5 мм) до $3 \pm 0,5$ мм (далее по тексту – 3 мм) размера фракций порошкообразного перлита приводит к снижению с 4 до 1 дБ значений ослабления ЭМИ и уменьшению с -3 до -6 дБ среднего значения коэффициента отражения ЭМИ (при использовании металлического отражателя) в диапазоне частот 0,7...17 ГГц электромагнитных экранов толщиной 1 см, выполненных в виде емкостей, заполненных таким материалом, что может быть связано с увеличением расстояния между фракциями порошкообразного перлита и рассеянием ЭМВ на этих фракциях. Масса на единицу площади рассматриваемых экранов составляет 0,5...1,5 кг/м² в зависимости от размера фракций использованного для их создания порошкообразного перлита. Для снижения значений ослабления ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц таких экранов предложено в поры используемого для их создания порошкообразного перлита вводить методом пропитки водный раствор соли хлорида кальция. Выбор указанного раствора обусловлен тем, что он способствует обеспечению стабильного влагосодержания материалов, в которые введен, что связано с его гигроскопичными свойствами. Установлено, что в результате введения методом пропитки в поры порошкообразного перлита выбранного водного раствора с концентрацией 10 масс. % значение ослабления ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц описанных электромагнитных экранов снижается на 5...20 дБ. Это обусловлено увеличением удельной электропроводности

такого порошкообразного материала с 0,007...0,014 до 5,4...13,6 См/м (в зависимости от размера его фракций). Уменьшение с 3 до 0,5 мм размера фракций порошкообразного перлита, содержащего 10%-й водный раствор хлорида кальция, приводит к увеличению на 3...15 дБ значений ослабления ЭМИ в диапазоне частот 0,7...7 ГГц рассматриваемых экранов, что обусловлено увеличением с 5,4 до 13,6 См/м его удельной электропроводности. Такое увеличение является следствием роста с 4 до 14 об. % влагосодержания порошкообразного перлита. Величина коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц (при использовании металлического отражателя) рассматриваемых экранов изменяется от -5 до -25 дБ.

Увеличение с 10 масс. % до максимального значения (40 масс. %) концентрации водного раствора хлорида кальция, вводимого методом пропитки в поры порошкообразного перлита, не оказывает существенного влияния на значения ослабления ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц конструкций электромагнитных экранов на его основе. Это обусловлено тем, что в результате реализации названного процесса удельная электропроводность порошкообразного перлита остается практически неизменной (рисунок 1).



Размер фракций порошкообразного перлита: 1 – 0,5 мм; 2 – 1...3 мм; 3 – 3 мм
 Рисунок 1. – Зависимости удельной электропроводности влагосодержащего порошкообразного перлита от концентрации введенного в его поры методом пропитки водного раствора хлорида кальция

Масса на единицу площади исследованных электромагнитных экранов толщиной 1 см составляет 1,5...6 кг/м² и увеличивается в среднем на 1 кг/м² при уменьшении с 3 до 0,5 мм размера фракций использованного для их изготовления перлита.

На основе порошкообразного перлита, закрепленного в цементной или гипсовой матрице, получены композиционные материалы. Объемное соотношение их компонентов – 1:1. Указанное объемное соотношение является наиболее оптимальным, т.к. увеличение процентного содержания порошкообразного перлита в рассматриваемых материалах приводит к

ухудшению их прочностных свойств, а уменьшение – к увеличению на 30...100 % их массы на единицу площади при практически неизменных значениях ослабления и коэффициента отражения ЭМИ. Выбор материалов матриц обусловлен следующими их преимуществами. Цемент характеризуется стойкостью ко многим агрессивным воздействиям (перепадам температур окружающей среды, изменениям влажности воздуха и т.п.), в связи с чем находит применение при изготовлении плит, предназначенных для наружной отделки зданий. Гипс широко используется для внутренней отделки помещений, что обусловлено малой величиной его срока схватывания по сравнению с цементом и отсутствием в его составе токсичных веществ.

Композиционные материалы толщиной 1 см, полученные на основе закрепленного в цементной матрице порошкообразного перлита с размером фракций 3 мм, характеризуются значениями ослабления и коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц, изменяющимися соответственно в пределах от 5 до 15 дБ, от –2 до –18 дБ. Уменьшение с 3 до 0,5 мм размера фракций порошкообразного перлита приводит к увеличению на 2...8 дБ значений коэффициента отражения ЭМИ и увеличению на 2...10 дБ значений ослабления ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц рассматриваемых композиционных материалов, что обусловлено увеличением с 10 до 13 об. % величины их влагосодержания. Установлено, что изменение материала матрицы в них (с цементной на гипсовую) приводит к увеличению на 1...4 дБ и 1...10 дБ соответственно значений их ослабления и коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц. Это связано с тем, что величина влагосодержания композиционных материалов с гипсовой матрицей на 2...4 об. % выше, чем у композиционных материалов с цементной матрицей. Масса на единицу площади полученных материалов составляет 8...13 кг/м².

Для получения композиционных покрытий на основе порошкообразного перлита, характеризующегося размером фракций 0,5 мм, предложено закреплять его в полимерной матрице (водоэмульсионная краска, силиконовый герметик). Значения их ослабления изменяются в пределах от 0,1 до 7 дБ, а коэффициента отражения ЭМИ – от –0,1 до –8 дБ (при условии нанесения таких покрытий на металлическую подложку слоем толщиной 3 мм).

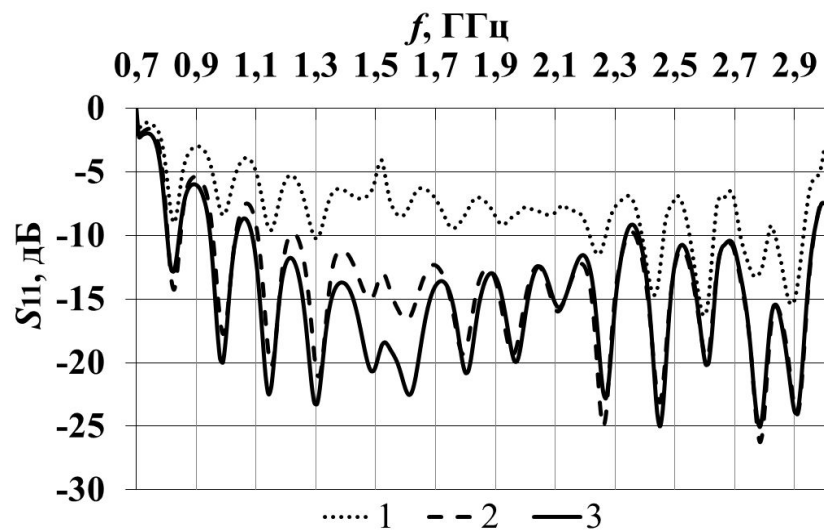
В четвертой главе приведены результаты разработки модульных конструкций электромагнитных экранов на основе порошкообразного перлита. Предложено модули для таких конструкций получать путем заполнения порошкообразным перлитом, пропитанным 10%-м водным раствором хлорида кальция, листового сотового поликарбоната с дальнейшим закреплением на фланцах последнего профилей, предназначенных для его монтажа на стены. Значения ослабления и коэффициента отражения (при использовании металлического отражателя) ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц таких конструкций толщиной 1 см составляют соответственно в среднем 15 дБ и –6 дБ. При увеличении с 1 до 3 см их толщины величины указанных параметров достигают 25 дБ и –8 дБ соответственно. Масса на единицу площади предложенных конструкций составляет 3,5...14 кг/м².

Для снижения энергии стоячих электромагнитных волн в помещениях,

экранированных металлическими листами, в настоящее время применяются конструкции экранов на основе магнитных материалов. Масса на единицу площади ряда таких конструкций превышает предельную несущую способность стен. Для исключения этого недостатка предложено добавлять в такие конструкции порошкообразный перлит, характеризующийся размером фракций 0,5 мм. В частности, экспериментальным путем установлено, что в результате добавления порошкообразного перлита (50 об. %) в полученные в соответствии с предложенным способом конструкции электромагнитных экранов на основе порошкообразного магнитного материала (титаномагнетита), может быть обеспечено снижение с 80 до 40 кг/м² их массы на единицу площади. Кроме того, в результате реализации названного процесса значения коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц таких конструкций уменьшаются с -4 до -10 дБ (при использовании металлических отражателей). Это связано со снижением с 13,5 до 8,5 величины относительной магнитной проницаемости их материала. Указанное объемное содержание порошкообразного перлита (50 об. %) в таких конструкциях является оптимальным, т.к. ему соответствует минимальное значение их коэффициента отражения ЭМИ (при добавлении к ним металлических отражателей).

Для уменьшения значений коэффициента отражения ЭМИ (при использовании металлического отражателя) в диапазоне частот 0,7...3 ГГц конструкций электромагнитных экранов на основе порошкообразного перлита, пропитанного водным раствором хлорида кальция или закрепленного в матрице, а также конструкций на основе порошкообразных перлита и титаномагнетита предложено формировать их в виде заполненных указанными материалами емкостей с рельефной поверхностью (элементы рельефа – пирамиды высотой 5,5 см). В соответствии с критерием Рэлея, влиянием элементов рельефа поверхности конструкции электромагнитного экрана, характеризующихся высотой 5,5 см, нельзя пренебречь по отношению к ходу распространения ЭМВ, частота которых составляет более 670 МГц. Значения коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне частот 0,7...3 ГГц предложенных конструкций на 5...10 дБ ниже, чем у конструкций с плоской поверхностью, изготовленных из аналогичных материалов.

Масса на единицу площади разработанных конструкций на основе порошкообразного перлита, пропитанного водным раствором хлорида кальция или закрепленного в матрице, составляет соответственно 4...6 кг/м² или 18...32 кг/м² (в зависимости от размера фракций использованного для их формирования порошкообразного перлита), а конструкций на основе смеси порошкообразных перлита и титаномагнетита – 39 кг/м², что в 2...4 меньше массы на единицу площади используемых в настоящее время экранов на основе углеродосодержащих или магнитных порошкообразных материалов (при схожих значениях толщины и ослабления ЭМИ). Значения коэффициента отражения ЭМИ (при использовании металлического отражателя) в диапазоне частот 0,7...3 ГГц разработанных конструкций электромагнитных экранов с рельефной поверхностью (рисунок 2) в среднем на 5 дБ ниже, чем у иных, используемых в настоящее время, конструкций, характеризующихся рельефной поверхностью.



Размер фракций порошкообразного перлита: 1 – 0,5 мм; 2 – 1...3 мм; 3 – 3 мм

Рисунок 2. – Частотные зависимости коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне 0,7...3 ГГц конструкций электромагнитных экранов на основе порошкообразного перлита, закрепленного в гипсовой матрице (при использовании металлических отражателей)

Разработанные конструкции электромагнитных экранов на основе порошкообразного перлита, пропитанного водным раствором хлорида кальция или закрепленного в матрице, а также конструкции на основе смеси такого материала с порошкообразным титаномagnetитом обеспечивают снижение уровня ПЭМИ до 2 раз и РКЗ такого излучения до 55 раз, а соответственно, усложняют задачу перехвата информации по каналу ПЭМИ.

Получены гибкие многослойные конструкции электромагнитных экранов с рельефной поверхностью в виде псевдоэллипсов (рисунок 3).

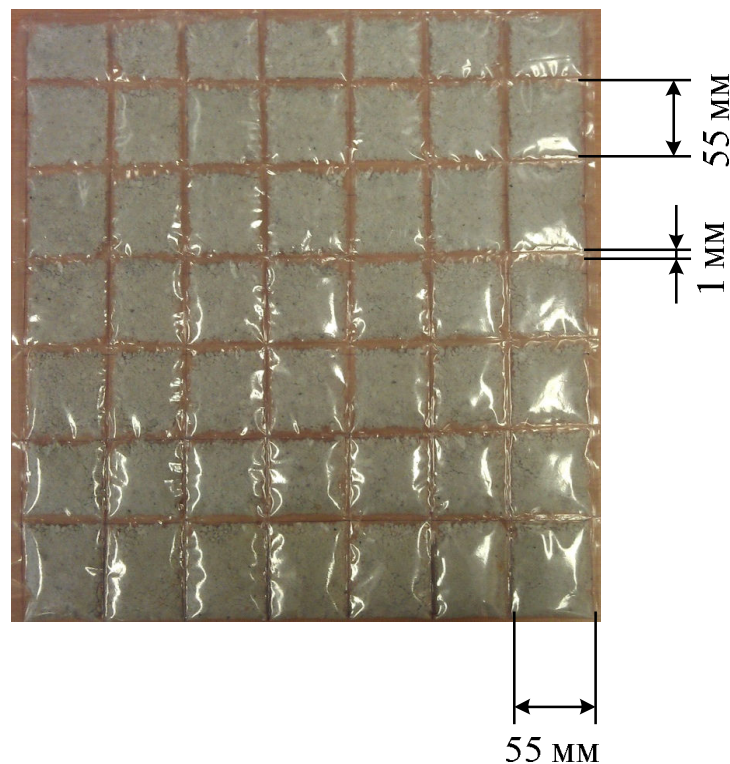


Рисунок 3. – Внешний вид разработанной гибкой конструкции электромагнитного экрана с рельефной поверхностью в виде псевдоэллипсов

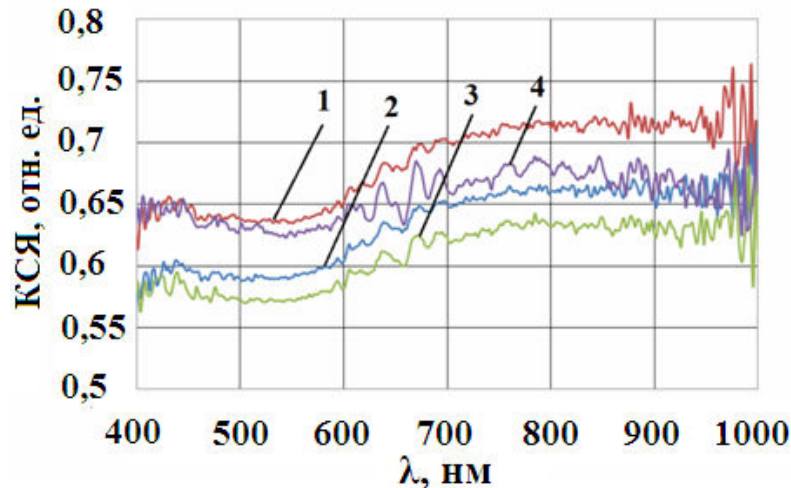
Первый слой созданных конструкций (относительно направления распространения ЭМВ) представляет собой изготовленную из полиэтилентерефталатной пленки емкость, заполненную порошкообразным перлитом, пропитанным 10%-м водным раствором хлорида кальция. Второй слой конструкций сформирован на основе фольгированного пенополиэтилена. Такие конструкции характеризуются значениями ослабления и коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц, изменяющимися соответственно в пределах от 15 до 50 дБ и от -1 до -25 дБ. Масса на единицу площади разработанных конструкций составляет 1,2...4,8 кг/м² (в зависимости от размеров элементов рельефа их поверхности).

В пятой главе представлены результаты испытаний и способы применения разработанных конструкций электромагнитных экранов. Определено, что они обеспечивают снижение уровня мощности ЭМИ с 1...5 мВт до 0,005...0,25 мВт. Показано, что значения ослабления и коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц таких конструкций изменяются не более, чем на 5 дБ при изменении температуры воздуха помещения, где эксплуатируются такие конструкции, от +6 до +18 °С и его относительной влажности – от 60 до 98 %.

Разработано устройство (стол), предназначенное для экранирования устанавливаемого внутрь него СВТ. Внутреннее пространство устройства разделено на секции, в которых размещаются экранирующие ЭМИ модули на основе порошкообразного перлита. Разработаны устройства для экранирования оконных проемов помещений, где располагаются СВТ. Такие устройства представляют собой жалюзи на основе металлической фольги, на которую с двух сторон слоем толщиной 2 мм нанесен порошкообразный перлит, закрепленный в полимерной матрице (водоэмульсионной краске). Значения коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц таких устройств изменяются в пределах от -0,5 до -8 дБ, а ослабления ЭМИ в указанном диапазоне – от 15 до 40 дБ.

Предложены спектрально-поляризационные имитаторы природных сред на основе композиционных материалов, полученных путем закрепления порошкообразного перлита в оптически прозрачном силиконовом герметике. Значения их КСЯ и СП в диапазоне длин ЭМВ 400...1000 нм – 0,4...0,7 отн. ед. и 0,02...0,2 отн. ед. соответственно в зависимости от размера фракций использованного для их создания порошкообразного перлита. Увеличение с 0,5 до 3 мм размера фракций порошкообразного перлита приводит к снижению с 0,7 до 0,4 отн. ед. максимального значения КСЯ спектрально-поляризационных имитаторов на его основе, что обусловлено увеличением с 40±5 до 105±10 мкм высоты выступов и глубины впадин их поверхности, обеспечивающих рассеяние ЭМВ в диапазоне длин от 400 до 1000 нм.

Увеличение от 0° до 65° угла визирования приводит к снижению КСЯ предложенных имитаторов на 0,01...0,07 отн. ед. (рисунок 4) и увеличению СП на 0,05...0,15 отн. ед.



Углы визирования: 1 – 0°; 2 – 25°; 3 – 45°; 4 – 65°

Рисунок 4. – Зависимость КСЯ композиционных материалов на основе порошкообразного перлита (размер фракций – 0,5 мм), закрепленного в прозрачном силиконовом герметике, от длины ЭМВ

Расчетным путем установлено, что предложенные имитаторы характеризуются наименьшими значениями коэффициента спектрального контраста с сухим снегом с настом. Эти значения изменяются в пределах от 0,002 до 0,04.

В приложениях представлены протокол проведения испытаний по определению эффективности экранирования опытных образцов, технологическая инструкция по изготовлению панели для экранирования помещений, акты о практическом использовании результатов диссертационной работы, копия диплома 7-й Международной выставки вооружения и военной техники «MILEX-2014».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Установлено, что увеличение с 0,5 до 3 мм размера фракций порошкообразного перлита обуславливает снижение с 4 до 1 дБ значений ослабления ЭМИ и уменьшение с –3 до –6 дБ среднего значения коэффициента отражения ЭМИ (при использовании металлического отражателя) в диапазоне частот 0,7...17 ГГц электромагнитных экранов толщиной 1 см, выполненных в виде емкостей, заполненных таким материалом, что может быть связано с увеличением расстояния между фракциями порошкообразного перлита. Экспериментальным путем определено оптимальное значение концентрации водного раствора хлорида кальция (10 масс. %), который необходимо ввести методом пропитки в поры порошкообразного перлита в целях увеличения ослабления ЭМИ электромагнитных экранов на его основе. Установлено, что в результате реализации такого процесса удельная электропроводность порошкообразного перлита увеличивается с 0,007...0,014 до 5,4...13,6 См/м в зависимости от размера его фракций (чем выше размер фракций порошкообразного перлита,

тем ниже величина его удельной электропроводности). Увеличение с 10 до максимального значения (40 масс. %) концентрации водного раствора хлорида кальция, вводимого методом пропитки в поры порошкообразного перлита, не оказывает существенного влияния на значения его удельной электропроводности, а следовательно, и значения ослабления ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц электромагнитных экранов на его основе. Максимальное значение концентрации водного раствора хлорида кальция обусловлено растворимостью такой соли в воде [6, 7, 8, 13].

2. Показано, что в результате закрепления порошкообразного перлита с размером фракций 0,5 мм в цементной матрице могут быть получены композиционные материалы, характеризующиеся средними значениями ослабления и коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц, равными соответственно 14 и -10 дБ (при толщине материалов - 1 см). Увеличение с 0,5 до 3 мм размера фракций порошкообразного перлита приводит к увеличению в среднем на 6 дБ значений ослабления и в среднем на 4 дБ значений коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц композиционных материалов на его основе, что обусловлено увеличением с 10 до 13 об. % величины их влагосодержания. Установлено, что изменение материала матрицы в них (с цементной на гипсовую) приводит к увеличению на 1...4 дБ и 1...10 дБ соответственно значений их ослабления и коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц. Это связано с тем, что величина влагосодержания у композиционных материалов с гипсовой матрицей на 2...4 об. % выше, чем у материалов с цементной матрицей. Установлено, что в результате добавления порошкообразного перлита (50 об. %) в электромагнитные экраны в виде твердотельных емкостей, заполненных порошкообразным титаномагнетитом, значения их коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц (при использовании металлического отражателя) снижаются с -4 до -10 дБ, что обусловлено уменьшением с 13,5 до 8,5 значения относительной магнитной проницаемости материала таких экранов [4, 5, 10, 12, 15, 16, 17, 18, 22, 24].

3. Установлено, что использование модулей, изготовленных на основе порошкообразного перлита, закрепленного в гипсовой матрице, для экранирования источника ПЭМИ, расположенного в неэкранированном помещении, способствует уменьшению РКЗ такого излучения в 2...4 раза (диапазон частот 400...1000 МГц). В указанном диапазоне частот амплитуда ПЭМИ превышает амплитуду электромагнитного шума в помещении. Если источник ПЭМИ расположен в безэховой камере, то его экранирование указанными модулями обуславливает уменьшение его РКЗ в 1,1...13,5 раз, а модулями на основе порошкообразного перлита и титаномагнетита - в 1,1...55 раз (диапазон частот - 0,01...2000 МГц). Вторые из названных модулей обеспечивают большее снижение РКЗ ПЭМИ ввиду того, что содержащийся в них магнитный материал (титаномагнетит) обуславливает дополнительные потери энергии взаимодействующего с ними излучения в своем рабочем диапазоне частот (80...400 МГц) [2, 28].

4. Показано, что значения коэффициента спектральной яркости и степени поляризации в диапазоне длин волн 400...1000 нм композиционных материалов, полученных путем закрепления в оптически прозрачном силиконовом герметике порошкообразного перлита, уменьшаются соответственно с 0,6...0,7 и 0,02...0,2 до 0,3...0,4 и 0,02...0,15 при увеличении с 0,5 до 3 мм размера фракций последнего. Это обусловлено увеличением с 40 ± 5 до 105 ± 10 мкм высоты выступов и глубины впадин их поверхности, обеспечивающих рассеяние ЭМВ в диапазоне длин от 400 до 1000 нм [1, 3, 14, 27].

Рекомендации по практическому использованию результатов

1. Созданные конструкции электромагнитных экранов на основе порошкообразного перлита, закрепленного в гипсовой матрице, обеспечивающие снижение уровней мощности электромагнитного излучения в диапазоне частот 0,7...17 ГГц с 1...5 мВт до 0,005...0,25 мВт и уменьшение в 1,1...13,5 раз РКЗ ПЭМИ СВТ, использованы на предприятии CSBC spol.s. r.o. (г. Братислава, Словацкая Республика) для электромагнитного экранирования помещений, в которых размещаются такие средства. Значения ослабления и коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц таких конструкций изменяются не более, чем на 5 дБ при изменении температуры воздуха в помещении, где они эксплуатируются, от +6 до +18 °С и его относительной влажности от 60 до 98 % [2, 5, 9, 11, 21, 23, 25, 26].

2. Предложенные гибкие конструкции электромагнитных экранов на основе порошкообразного перлита, пропитанного 10%-м водным раствором хлорида кальция, характеризующиеся значениями коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц (при использовании металлического отражателя) до -25 дБ и массой на единицу площади $1,2 \text{ кг/м}^2$ при толщине 0,7 мм, могут использоваться в целях скрытия наземных объектов в радиолокационном диапазоне длин волн [4, 14, 21, 30].

3. Композиционные покрытия, основанные на введении порошкообразного перлита с размером фракций 0,5 мм в водоэмульсионную краску, могут применяться для создания конструкций типа «жалюзи», предназначенных для экранирования оконных проемов помещений, в которых располагаются СВТ [4, 19, 20].

4. Композиционные материалы, основанные на введении порошкообразного перлита в оптически прозрачный силиконовый герметик и характеризующиеся значением коэффициента спектрального контраста с сухим снегом с настом 0,002...0,04, могут использоваться для изготовления спектрально-поляризационных имитаторов, предназначенных для скрытия в оптическом диапазоне длин волн (400...1000 нм) наземных объектов на фоне указанной природной среды. Для уменьшения площади зеркально активных участков поверхности предложенных спектрально-поляризационных имитаторов на ней может быть закреплена тканая сетка [27, 29].

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Глава в монографии

1. Бойправ, О. В. Спектрально-поляризационные свойства порошкообразных перлита, шлама очистки ваграночных газов и композиционных материалов на их основе / О. В. Бойправ // Комбинированные материалы для имитации естественных сред в видимом и инфракрасном диапазонах длин волн для систем защиты информации : монография / под. ред. Л. М. Лынькова. – Минск : Бестпринт, 2014. – Гл. 6. – С. 110–145.

Статьи в научных журналах

2. Бойправ, О. В. Информационно-измерительная система оценки влияния уровней мощности электромагнитного излучения на характеристики его ослабления защитными экранами / О. В. Бойправ, Л. М. Лыньков, Т. В. Борботько // Приборы и методы измерений. – 2013. – № 1 (6). – С. 19–22.

3. Влияние микрорельефа поверхности композитных материалов на их оптические свойства / О. В. Бойправ [и др.] // Доклады БГУИР. – 2013. – № 4 (74). – С. 16–21.

4. Бойправ, О. В. Многослойные экраны электромагнитного излучения на основе порошкообразных углеродосодержащих материалов и вспученного перлита / О. В. Бойправ, Е. С. Белоусова, А. М. А. Мохамед // Доклады БГУИР. – 2014. – № 3 (81). – С. 27–32.

5. Бойправ, О. В. Влияние температуры на характеристики отражения и передачи электромагнитного излучения перлитосодержащих экранов / О. В. Бойправ, Т. В. Борботько, Л. М. Лыньков // Электронный журнал «Труды МАИ». – 2014. – № 75. – Режим доступа: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=49710>. – Дата доступа: 28.10.2016.

6. Бойправ, О. В. Экраны электромагнитного излучения на основе влагосодержащего порошкообразного перлита / О. В. Бойправ, Т. В. Борботько, Л. М. Лыньков // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. – 2014. – № 11. – С. 75–80.

7. Бойправ, О. В. Влияние влагосодержания на электродинамические параметры порошкообразного перлита / О. В. Бойправ, Т. В. Борботько, Л. М. Лыньков // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия физико-технических наук. – 2014. – № 4. – С. 9–13.

8. Бойправ, О. В. Влияние размера фракций влагосодержащего порошкообразного перлита на его значения проводимости / О. В. Бойправ, Т. В. Борботько // Доклады БГУИР. – 2016. – № 1 (95). – С. 71–75.

Статьи в научно-технических журналах

9. Бойправ, О. В. Влияние отрицательной температуры на характеристики отражения и ослабления электромагнитного излучения многослойными перлитосодержащими экранами / О. В. Бойправ, Т. В. Борботько // Труды Северо-кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. – 2014. – Ч. 1. – С. 158–161.

Статьи в сборниках и материалах конференций

10. Бойправ, О. В. Конструкции экранов электромагнитного излучения с геометрически неоднородной поверхностью на основе порошкообразного перлита / О. В. Бойправ, Т. В. Борботько // Научные стремления-2013 : сб. матер. IV Междунар. науч.-практ. молодежной конф., Минск, 3–6 дек. 2013 г./ редкол.: Ю. М. Сафонова (гл. ред) [и др.] – Минск: Энциклопедикс, 2013. – С. 275–278.

11. Бойправ, О. В. Строительные конструкции модульного типа для снижения энергии побочных электромагнитных излучений средств вычислительной техники / О. В. Бойправ, Я. Т. А. Аль-Адеми // Телекоммуникации : сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных: матер. Междунар. науч.-техн. сем. Минск, апр.–дек., 2013 г. / БГУИР; редкол. : М. Н. Бобов (гл. ред) [и др.]. – Минск, 2013. – С. 90–94.

12. Бойправ, О. В. Модульные конструкции экранов электромагнитного излучения на основе перлита для защиты оборудования центров обработки данных от воздействия помех / О. В. Бойправ, Т. В. Борботько // Информационные системы и технологии: управление и безопасность : сб. статей II Междунар. науч.-практ. конф., Тольятти, дек. 2013. / редкол. : Л. И. Ерохина (гл. ред) [и др.]. – Тольятти : Русе, 2013. – С. 129–139.

13. Boiprav, O. V. Electromagnetic shielding properties of composite materials based on perlite and shungite / O. V. Boiprav [et. al.] // 21 century: fundamental science and technology : materials of III Int. science and practical conference, Moscow, Jan., 23–24, 2014. – USA, spc Academic. – Vol. 1. – P. 179–182.

14. Бойправ, О. В. Спектрально-поляризационные свойства порошкообразного перлита / О. В. Бойправ // Актуальные вопросы физики и техники: Матер. III Респ. науч. конф. студентов, магистрантов и аспирантов, Гомель, 17 апр. 2014 г. / ГГУ им. Скорины; редкол. : А. В. Рогачев (гл. ред) [и др.]. – Гомель, 2014. – Ч. 1. – С. 12–14.

15. Бойправ, О. В. Экраны электромагнитного излучения на основе гипсоперлита / О. В. Бойправ, Т. В. Борботько // Первый шаг в науку-2014 : сб. матер. секционных заседаний студенческой научной молодежи, Минск, 23–25 апр. 2014 г. / редкол. : Ю. М. Сафонова (гл. ред) [и др.]. – Минск : Энциклопедикс, 2014. – С. 175–179.

16. Бойправ, О. В. Конструкции электромагнитных экранов на основе порошкообразного перлита, магнитных и металлических материалов для пассивных технических средств защиты информации / О. В. Бойправ, Т. В. Борботько // Технологии информатизации и управления. ТИМ-2016 : матер. III Междунар. науч.-практ. конф., Гродно, 14–15 апреля 2016 г.– Гродно : ГрГУ, 2016. – С. 1–4. – Режим доступа : http://tim2016.itim.by/?page_id=1018&lang=ru. – Дата доступа : 03.12.2016.

Тезисы докладов

17. Бойправ, О. В. Экраны электромагнитного излучения на основе порошкообразного перлита / О. В. Бойправ, Т. В. Борботько // Современные средства связи: матер. XVII Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 15–16 окт. 2013 г. / ВГКС; редкол.: А.О. Зеневич (гл. ред) [и др.]. – Минск, 2013. – С. 160.

18. Бойправ, О. В. Экранирующие электромагнитное излучение материалы на основе цементных растворов и перлита / О. В. Бойправ, Т. В. Борботько // Управление информационными ресурсами: матер. X Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 13 дек. 2013 г. / Акад. упр. при Президенте Респ. Беларусь; редкол.: А. В. Ивановский (гл. ред) [и др.]. – Минск, 2013. – С. 124–125.

19. Бойправ, О.В. Конструкции экранов электромагнитного излучения на основе перлита и титаномагнетита / О. В. Бойправ, Т. В. Борботько, Л. Л. Ганьков // Матер. Междунар. науч.-техн. конф., приуроченной к 50-летию МРТИ–БГУИР, Минск, 18–19 марта 2014 г. / БГУИР; редкол.: А. А. Кураев (гл. ред) [и др.]. – Минск, 2014. – Ч. 1. – С. 326–327.

20. Бойправ, О. В. Многослойные конструкции экранов электромагнитного излучения на основе порошкообразного перлита / О. В. Бойправ // Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке: матер. XVIII Междунар. молодежного форума, Харьков, 14–16 апр. 2014 г. / ХНУРЭ; редкол.: П. Е. Баранов [и др.]. – Харьков, 2014. – Ч. 3. – С. 42–43.

21. Бойправ, О. В. Метод формирования экранов электромагнитного излучения на основе композиционных перлитосодержащих материалов / О. В. Бойправ // Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций «РТ–2014»: матер. 10-й Междунар. молодежной науч.-техн. конф., Севастополь, 12–17 мая 2014 г. / СевНТУ; редкол.: Е. В. Пашков (гл. ред) [и др.]. – Севастополь, 2014 – С. 268.

22. Бойправ, О. В. Экраны электромагнитного излучения на основе строительных материалов и порошкообразного перлита / О. В. Бойправ [и др.] // Технические средства защиты информации: тез. докл. XII Бел.-росс. науч.-техн. конф., Минск, 28–29 мая 2014 г. / БГУИР; редкол.: Л. М. Лыньков (гл. ред) [и др.]. – Минск, 2014. – С. 46.

23. Мишковец, Е. А. Оценка плотности потока энергии электромагнитного излучения, пропускаемого перлитосодержащими композиционными материалами / Е. А. Мишковец, В. В. Безмен, О. В. Бойправ // Технические средства защиты информации: тез. докл. XII Бел.-росс. науч.-техн. конф., Минск, 28–29 мая 2014 г. / БГУИР; редкол.: Л. М. Лыньков (гл. ред) [и др.]. – Минск, 2014. – С. 47.

24. Бойправ, О. В. Экраны электромагнитного излучения с геометрически неоднородной поверхностью на основе порошкообразных перлита и титаномагнетита / О. В. Бойправ, Т. В. Борботько, Л. Л. Ганьков // «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2014): матер. 24-й Междунар. Крымской конф., Севастополь, 7–13 сент. 2014 г. /

СевНТУ ; редкол. : М. П. Батура (гл. ред) [и др.] – Севастополь, 2014. – С. 639–640.

25. Бойправ, О. В. Ослабление мощности электромагнитного излучения конструкциями экранов на основе порошкообразного перлита / О. В. Бойправ, Т. В. Борботько // Современные средства связи : матер. XVIII Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 14–15 окт. 2014 г. / ВГКС ; редкол. : А. О. Зеневич (гл. ред) [и др.]. – Минск, 2014. – С. 61–62.

26. Бойправ, О. В. Влияние влажности воздуха на характеристики отражения и передачи электромагнитного излучения строительных отделочных модулей на основе порошкообразного перлита / О. В. Бойправ, Т. В. Борботько // Медэлектроника-2014. Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии : матер. VIII Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 10–11 дек. 2014 г. / БГУИР; редкол. : В. С. Улащик (гл. ред) [и др.]. – Минск, 2014. – С. 25–26.

27. Бойправ, О. В. Конструкции спектрально-поляризационных имитаторов подстилающих поверхностей на основе влагосодержащего порошкообразного перлита / О. В. Бойправ, В. В. Безмен // Управление информационными ресурсами : матер. XI Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 12 дек. 2014 г. / Акад. упр. при Президенте Респ. Беларусь ; редкол. А. В. Ивановский (гл. ред) [и др.]. – Минск, 2014. – С. 159–160.

28. Бойправ, О. В. Композиционные материалы на основе порошкообразных перлита и титаномагнетита для защиты информации от утечки по каналу побочного электромагнитного излучения / О. В. Бойправ, Аль-Мамури А.А.А. // Технические средства защиты информации : тез. докл. XIV Бел.-росс. науч.-техн. конф., Минск, 25–26 мая 2016 г. / БГУИР; редкол. : Л. М. Лыньков (гл. ред) [и др.]. – Минск, 2016. – С. 49.

Патенты

29. Спектрально-поляризационный имитатор растительных сред : полез. модель. ВУ 9667 / Ю. В. Беляев, Джамаль Саад Омер Аб, Л. М. Лыньков, О. В. Бойправ, Т. В. Борботько. – Опубл. 30.10.2013.

30. Способ изготовления конструкции электромагнитного экрана и конструкция электромагнитного экрана, полученная этим способом : заявка ВУ 20150349 / Л. М. Лыньков, О. В. Бойправ, Е. С. Белоусова, Т. В. Борботько, Д. В. Столер. – Заявл. 25.06.2015.



Электрамагнітныя экраны на аснове парашкавабразнага перліту для тэхнічных сродкаў абароны інфармацыі

Ключавыя словы: канал пабочнага электрамагнітнага выпраменьвання, каэфіцыент адлюстравання, паслабленне, перліт, электрамагнітныя экраны, электрамагнітнае выпраменьванне.

Мэта працы: ўсталяванне заканамернасцяў уплыву памеру фракцый парашкавабразнага перліту і дадаваных да яго кампанентаў на велічыні яго паслаблення і каэфіцыента адлюстравання электрамагнітнага выпраменьвання і стварэнне электрамагнітных экранаў, якія характарызуюцца паніжанай масай на адзінку плошчы ў параўнанні з аналагамі.

Метады даследавання і выкарастаная апаратура: характарыстыкі паслаблення і адлюстравання электрамагнітнага выпраменьвання распрацаваных электрамагнітных экранаў былі атрыманы з выкарыстаннем панарамнага вымяральніка каэфіцыентаў перадачы і адлюстравання SNA 0,01–18, спектральна-палярызацыйныя характарыстыкі вызначаны з дапамогай спектрарадыёметра ПСР-02, параметры элементаў мікрарэльефа паверхні вымераны з выкарыстаннем мікраметра ФОМ-2-16.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: прапанавана выкарыстоўваць парашкавабразны перліт ў якасці асноўнага матэрыялу для стварэння канструкцый электрамагнітных экранаў. Выяўлена, што распрацаваныя канструкцыі экранаў (таўшчыня – 1 см) характарызуюцца значэннямі паслаблення і каэфіцыента адлюстравання электрамагнітнага выпраменьвання ў дыяпазоне частот 0,7...17 ГГц адпаведна да 25 дБ і –15 дБ, велічыні якіх залежаць ад памеру фракцый парашкавабразнага перліту (0,5...3 мм) і матэрыялу, у якім ён замацоўваецца. Паказана магчымасць атрымання на аснове парашкавабразнага перліту канструкцый электрамагнітных экранаў са зніжанай да значэння 1,2 кг/м² масай на адзінку плошчы пры таўшчыні 0,7 см. Даследаваны каэфіцыент спектральнай яркасці і ступень палярызацыі ў дыяпазоне даўжынь хваль 400...1000 нм спектральна-палярызацыйных імітатараў на аснове парашкавабразнага перліту.

Ступень выкарыстання: вынікі даследавання ўжыты пры стварэнні экрануючых маналітных будаўнічых модуляў (CSBC spol. s. r. o., Славацкая Рэспубліка), у рамках выканання навукова-даследчай работы па навукова-тэхнічнай праграме Саюзнай дзяржавы (шыфр «Компomat-8») і навучальным працэсе установы адукацыі «Беларускі дзяржаўны ўніверсітэт інфарматыкі і радыёэлектронікі».

Вобласть ужывання: інфармацыйная бяспека.

РЕЗЮМЕ

Бойправ Ольга Владимировна

Электромагнитные экраны на основе порошкообразного перлита для технических средств защиты информации

Ключевые слова: канал побочного электромагнитного излучения, коэффициент отражения, ослабление, перлит, электромагнитные экраны, электромагнитное излучение.

Цель работы: установление закономерностей влияния размера фракций порошкообразного перлита и добавляемых к нему компонентов на значения его ослабления и коэффициента отражения электромагнитного излучения и создание электромагнитных экранов, характеризующихся пониженной массой на единицу площади по сравнению с аналогами.

Методы исследования и использованная аппаратура: характеристики ослабления и отражения электромагнитного излучения разработанных электромагнитных экранов были получены с использованием панорамного измерителя коэффициентов передачи и отражения SNA 0,01-18, спектрально-поляризационные характеристики определены с помощью спектрометра ПСР-02, параметры элементов микрорельефа поверхности измерены с использованием микрометра ФОМ-2-16.

Полученные результаты и их новизна: предложено использовать порошкообразный перлит в качестве основного материала для создания конструкций электромагнитных экранов. Установлено, что разработанные конструкции экранов (толщина – 1 см) характеризуются значениями ослабления электромагнитного излучения в диапазоне частот 0,7...17 ГГц до 25 дБ и коэффициента отражения до –15 дБ, величины которых зависят от размера фракций порошкообразного перлита (0,5...3 мм) и материала, в котором он закрепляется.

Показана возможность получения на основе порошкообразного перлита конструкций электромагнитных экранов со сниженной до значения 1,2 кг/м² массой на единицу площади при толщине 0,7 см. Исследованы коэффициент спектральной яркости и степень поляризации в диапазоне длин волн 400...1000 нм спектрально-поляризационных имитаторов на основе порошкообразного перлита.

Степень использования: результаты исследования применены при создании экранирующих монолитных строительных модулей (CSBC spol. s. r. o., Словацкая Республика), в рамках выполнения научно-исследовательской работы по научно-технической программе Союзного государства (шифр «Компомат-8») и учебном процессе учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Область применения: информационная безопасность.

SUMMARY

Boiprav Olga Vladimirovna

**Electromagnetic shields based on powdered perlite
for the technical means of information protection**

Keywords: channel of stray electromagnetic radiation, reflection coefficient, attenuation, perlite, electromagnetic shields, electromagnetic radiation.

Aim of the work: establishing patterns of influence of the powdered perlite fractions size and components added to it on the value of its electromagnetic radiation attenuation and reflection coefficient and the creation of electromagnetic shields characterized by low weight per unit area in comparison with analogues.

Research methods and used facilities: electromagnetic radiation attenuation and reflection characteristics of developed electromagnetic shields have been obtained with the panoramic meter of transmission and reflection coefficients SNA 0,01–18, spectral and polarization characteristics have been determined with use of the spectroradiometer PSR-02, surface microrelief elements parameters have been measured with the micrometer FOM-2-16.

The obtained results and their novelty: it's proposed to use a powdered perlite as a main material for electromagnetic shields creation. It's found that the developed shields (the thickness is 1 cm) are characterized of electromagnetic radiation attenuation in the frequency range 0.7...17 GHz to 25 dB and reflection coefficient to –15 dB. The coefficients values depend on the fractions size of powdered perlite (0.5...3 mm) and the material, wherein powdered perlite fixed.

The possibility of obtaining the electromagnetic shield constructions with reduced mass per unit of square (1.2 kg/m^2 at a thickness of 0.7 cm) based on powdered perlite is shown. The spectral brightness coefficient and polarization degree in the wavelength range of 400...1000 nm of designed spectral polarization imitators based on powdered perlite are researched.

Extent of usage: results of the research were used for creation of shielding monolithic building modules (CSBC spol. s. r. o., the Slovak Republic), as part of the research work on the scientific and technical program of the Union State (code «Kompomat-8») and in educational process of education establishment «Belarussian state university of informatics and radioelectronics».

Field of application: information security.

Научное издание

Бойправ Ольга Владимировна

**ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЭКРАНЫ
НА ОСНОВЕ ПОРОШКООБРАЗНОГО ПЕРЛИТА
ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.13.19 – Методы и системы защиты информации,
информационная безопасность

Подписано в печать 20.01.2017.	Формат 60x84 ¹ / ₁₆ .	Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс».	Отпечатано на ризографе.	Усл. печ. л. 1,63.
Уч. изд. л. 1,5.	Тираж 60 экз.	Заказ 9.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/238 от 24.03.2014,
№ 2/113 от 07.04.2014, № 3/615 от 07.04.2014.
ЛП № 02330/264 от 14.04.2014.
220013, Минск, П. Бровки, 6.