

Учреждение образования  
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

УДК [537.531: 669.112.227.322]: 004.056

БОЙПРАВ  
Ольга Владимировна

ЭКРАНЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ  
ПОРОШКООБРАЗНОГО ПЕРЛИТА ДЛЯ ПАССИВНЫХ  
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 2015

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

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

Официальные оппоненты: **Смирнов Александр Георгиевич**, доктор технических наук, профессор, заведующий научно-исследовательской лабораторией «Устройства обработки и отображения информации» научно-исследовательской части учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

**Хижняк Александр Вячеславович**, кандидат технических наук, доцент, начальник кафедры автоматизированных систем управления войсками учреждения образования «Военная академия Республики Беларусь»

Оппонирующая организация: государственное научное учреждение «Институт физики имени Б.И. Степанова НАН Беларуси»

Защита состоится «14» мая 2015 г. в 14<sup>00</sup> 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 «9» апреля 2015 г.

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

А.А. Борискевич

## ВВЕДЕНИЕ

Для предотвращения утечки информации (в том числе ограниченного распространения) по каналам побочных электромагнитных излучений (ПЭМИ) в настоящее время используются средства активного и пассивного скрывания информации. Практическое использование таких средств, обеспечивающих снижение радиуса контролируемой зоны ПЭМИ средств вычислительной техники (СВТ), должно быть экономически обоснованным, в соответствии с чем средства активного скрывания ввиду их невысокой стоимости находят широкое практическое применение. Однако их функционирование косвенно демаскирует месторасположение защищаемого СВТ. В средствах пассивного скрывания информации такой недостаток исключен, ввиду того, что используемые для их создания электромагнитные экраны обеспечивают ослабление ПЭМИ СВТ. Такие средства используют для создания экранированных комнат, в которых размещаются средства обработки информации, или экранирования непосредственно СВТ.

Для формирования конструкций электромагнитных экранов в настоящее время широко используют металлические материалы, ввиду их технологичности и высокой эффективности экранирования. Однако применение таких конструкций для экранирования помещений приводит к образованию стоячих электромагнитных волн в таких помещениях, влияющих на функционирование размещенных в них средств обработки информации. Использование же рассматриваемых конструкций для экранирования средств вычислительной техники приводит к увеличению их веса и стоимости. Высокое значение коэффициента отражения металлических материалов затрудняет также их использование для решения задачи снижения заметности военной техники в радиолокационном диапазоне длин волн. В соответствии с вышеизложенным перспективным является применение композиционных материалов.

В работе приводятся результаты разработки и исследования формируемых на основе порошкообразного перлита конструкций электромагнитных экранов, значения коэффициентов отражения и передачи электромагнитного излучения (ЭМИ) которых зависят от размера фракций такого материала, концентрации водного раствора хлорида кальция, инкорпорируемого в его поры, и типа матрицы, в которой он закрепляется. Масса таких конструкций в 2...4 раза меньше величины аналогичного параметра для конструкций на основе других порошкообразных материалов (шунгита, порошкообразных отходов плавки чугуна и т.п.), характеризующихся схожими значениями коэффициентов отражения и передачи ЭМИ. Практическое применение таких конструкций обеспечивает снижение уровня и радиуса контролируемой зоны ПЭМИ, а также заметности наземных объектов в оптическом и радиолокационном диапазонах длин волн.

## **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 подразделам 5.5 «Методы, средства и технологии обеспечения информационной безопасности при обработке, хранении и передаче данных с использованием криптографии, квантово-криптографических систем» приоритетных направлений фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2011–2015 годы, утвержденных Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 19.04.2010 г. № 585.

Работа выполнялась в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» в рамках научно-исследовательской работы по темам: «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» (х/д 12-1133, № г.р. 20132620); «Оценка взаимодействия высокоинтенсивного электромагнитного излучения с экранами на основе резистивных, диэлектрических и магнитных материалов» (ГБЦ 14-3129, № г.р. 20142476).

### **Цель и задачи исследования**

Целью диссертационной работы является разработка композиционных материалов на основе порошкообразного перлита для электромагнитных экранов, характеризующихся пониженной массой, и исследование их коэффициентов отражения и передачи электромагнитного излучения, коэффициента спектральной яркости и степени поляризации.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи.

1. Обосновать выбор порошкообразного перлита в качестве основного материала для создания конструкций электромагнитных экранов и выбрать необходимые связующие вещества и другие компоненты.

2. Исследовать влияние концентрации водного раствора хлорида кальция, инкорпорируемого в порошкообразный перлит, на значения коэффициентов отражения и передачи электромагнитного излучения создаваемых на его основе конструкций электромагнитных экранов для пассивных средств защиты информации от утечки по оптическим и электромагнитным каналам.

3. Исследовать влияние уровня мощности электромагнитного излучения на его ослабление конструкциями электромагнитных экранов на основе порошкообразного перлита.

4. Исследовать влияние температуры и относительной влажности

воздуха на характеристики отражения и передачи электромагнитного излучения конструкций электромагнитных экранов на основе порошкообразного перлита.

5. Исследовать коэффициент спектральной яркости и степень поляризации конструкций электромагнитных экранов на основе порошкообразного перлита.

6. Разработать рекомендации по использованию предложенных конструкций электромагнитных экранов для снижения уровня побочных электромагнитных излучений средств вычислительной техники и заметности военной техники.

### **Научная новизна**

1. Совокупность экспериментальных данных, доказывающих, что инкорпорирование в поры порошкообразного перлита водного раствора хлорида кальция с концентрацией 10 масс. % приводит к снижению с  $-4$  дБ до  $-25$  дБ значений коэффициента передачи электромагнитного излучения в диапазоне частот  $0,7...17$  ГГц конструкции электромагнитного экрана, выполненной в виде твердотельной емкости толщиной  $1$  см, заполненной таким порошкообразным материалом.

2. Совокупность экспериментальных данных, доказывающих, что увеличение с  $0,5$  до  $3$  мм размера фракций порошкообразного перлита, закрепляемого в цементной или гипсовой матрице, приводит к увеличению с  $-25$  дБ до  $-20$  дБ значений коэффициента передачи и снижению с  $-10$  дБ до  $-15$  дБ коэффициента отражения электромагнитного излучения в диапазоне частот  $0,7...17$  ГГц конструкции экрана толщиной  $1$  см на основе такого материала.

### **Положения, выносимые на защиту**

1. Увеличение с  $10$  до  $40$  масс. % концентрации водного раствора хлорида кальция, инкорпорируемого в поры порошкообразного перлита методом пропитки, не оказывает существенного влияния на значения его коэффициента передачи, который составляет  $-25$  дБ, при коэффициенте отражения электромагнитного излучения  $-6...-10$  дБ в диапазоне частот  $3...17$  ГГц, и приводит к увеличению с  $1$  до  $6$  кг удельного веса конструкции электромагнитного экрана, выполненной в виде емкости толщиной  $1$  см, заполняемой таким материалом.

2. Введение порошкообразного титаномагнетита ( $50$  об. %) в конструкцию электромагнитного экрана (толщина –  $1...3$  см), выполненную в виде твердотельной емкости, заполненной порошкообразным перлитом, позволяет снизить ее коэффициент передачи с  $-4$  до  $-16$  дБ и коэффициент отражения электромагнитного излучения (при использовании металлического отражателя) с  $-3$  до  $-10$  дБ в диапазоне частот  $0,7...17$  ГГц при увеличении веса такой конструкции с  $0,5$  до  $40$  кг/м<sup>2</sup>, что позволяет предложить ее использование для формирования экранирующих внутренних перегородок помещений.

3. Экспериментальное обоснование конструкций электромагнитных экранов с геометрическими неоднородностями поверхности высотой 4 см, основанных на введении порошкообразного перлита в цементную или гипсовую матрицу, характеризующихся значением коэффициента передачи до  $-35$  дБ в диапазоне частот  $0,7...17$  ГГц и коэффициента отражения электромагнитного излучения (при использовании металлического отражателя) до  $-25$  дБ в диапазоне частот  $0,7...3$  ГГц, что позволяет снизить вес таких конструкций в  $2...4$  раза по сравнению с существующими конструкциями экранов со схожими величинами коэффициентов отражения и передачи и рекомендовать их использование для создания отделочных модулей для стен экранированных помещений.

4. Введение порошкообразного перлита с размером фракций  $0,5...3$  мм в силиконовый герметик (объемное соотношение –  $1:1$ ) приводит к формированию композита, характеризующегося коэффициентом спектральной яркости  $0,4...0,7$  отн. ед. в диапазоне длин волн  $400...1000$  нм при изменении угла визирования от  $0^\circ$  до  $65^\circ$ , высотой шероховатостей и глубиной дефектов поверхности не более  $115$  и  $65$  мкм соответственно, что позволяет рекомендовать такие материалы 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.

#### **Апробация результатов диссертации**

Основные положения и результаты диссертации докладывались и обсуждались на научных и научно-практических конференциях разного уровня: Международной научно-практической конференции «Информационная безопасность как составляющая национальной безопасности государства» (Минск, 2013); XVIII Международной научно-технической конференции «Современные средства связи» (Минск, 2013); X, XI Международных научно-практических конференциях «Управление информационными ресурсами» (Минск, 2013, 2014); Международном научно-техническом семинаре «Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных» (Минск, 2013, 2014); 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); XXII Международной научно-практической конференции «Физика конденсированного состояния»; 10-й Международной молодежной научно-технической конференции «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций «РТ-2014» (Севастополь, 2014); III Республиканской научной конференции студентов, магистрантов и аспирантов «Актуальные вопросы физики и техники» (Гомель, 2014); XII Белорусско-российской научно-технической конференции «Технические средства защиты информации» (Минск, 2014); XV Международной молодежной научно-технической конференции «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций» (Севастополь, 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); 24-й Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2014)» (Севастополь, 2014); VIII Международной научно-технической конференции «Медэлектроника-2014. Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии» (Минск, 2014).

### **Опубликование результатов диссертации**

По результатам исследований, представленным в диссертации, опубликовано 32 работы, в том числе 1 монография (5 авторских листов), 7 статей в научных журналах, 22 статьи в сборниках материалов конференций, 2 тезиса докладов, получены 3 патента Республики Беларусь на полезную модель.

Общий объем публикаций по теме диссертации, соответствующих пункту 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, составляет 12,5 авторских листов.

### **Структура и объем диссертации**

Диссертационная работа состоит из введения (2 стр.), общей характеристики работы (5 стр.), четырех глав с выводами по каждой главе (178 стр.), заключения (3 стр.), библиографического списка (18 стр.) и приложений (4 стр.).

Общий объем диссертационной работы составляет 210 страниц, из которых 100 страниц текста, 260 рисунков на 80 страницах, 22 таблицы на 8 страницах, библиографический список из 135 источников и 35 собственных публикаций автора на 18 страницах, 2 приложения на 4 страницах.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** определены основные направления исследований, обоснована актуальность темы диссертации, показана необходимость проведения исследований, связанных с разработкой пассивных средств

технической защиты информации (конструкций электромагнитных экранов) для предотвращения утечки информации по каналу ПЭМИ.

**В первой главе** приведены результаты анализа научно-технической литературы. Показано, что в процессе своего функционирования СВТ создают ПЭМИ, которые являются причиной образования канала утечки информации. Расстояние, с которого возможен перехват информации, обрабатываемой такими средствами, обуславливается радиусом контролируемой зоны. Его уменьшение может быть обеспечено посредством экранирования источника ПЭМИ и создания помещений для средств обработки информации. Показано, что для создания электромагнитных экранов в настоящее время используются металлические материалы, характеризующиеся высокими весом (до  $30 \text{ кг/м}^2$ ) и стоимостью (до 1500 долларов США). Ослабление ЭМИ такими экранами в диапазоне от единиц до десятков гигагерц снижается с ростом частоты. Альтернативой металлическим материалам являются композиционные радиопоглощающие материалы (РПМ), компоненты которых характеризуют их экранирующие и эксплуатационные свойства. Показано, что использование углеродосодержащих (сажи, графита, шунгита) порошкообразных материалов и ферритов в качестве наполнителя в композиционных РПМ позволяет уменьшить их вес и стоимость. Однако композиционные РПМ на основе углеродосодержащих материалов характеризуются снижением ослабления ЭМИ с ростом частоты в диапазоне от сотен мегагерц до десятков гигагерц, а РПМ с наполнителями на основе ферритов – узким рабочим диапазоном частот. Для создания широкодиапазонных конструкций электромагнитных экранов применяются композиционные РПМ, наполнителем которых являются порошкообразные материалы (бентонит, диоксид титана, силикагель), содержащие жидкие среды. Однако такие конструкции характеризуются нестабильностью величин коэффициентов отражения и передачи ЭМИ, связанной с испарением влаги, а также изменением условий их эксплуатации; высокой массой (более  $1000 \text{ кг/м}^3$ ) и низкой степенью доступности порошкообразных наполнителей, определяющей их высокую стоимость.

Показано, что электромагнитные экраны, обеспечивающие скрытие наземных объектов в радиолокационном и оптическом диапазонах, конструктивно изготавливают в виде маскировочных сетей, модулей, закрепляемых на корпусе военной техники и покрытий для такой техники. Наибольшей универсальностью характеризуются покрытия, т.к. они пригодны для скрытия техники на марше, а модули, предназначенные для закрепления на корпусах военной техники, изготавливаются определенных размеров и форм, что не позволяет унифицировать их применение для различных типов наземных объектов. В соответствии с этим обуславливается необходимость поиска порошкообразных материалов, применение которых в конструкциях электромагнитных экранов позволит исключить указанные недостатки.

В качестве наполнителя для широкодиапазонных композиционных РПМ перспективным представляется использование порошкообразного



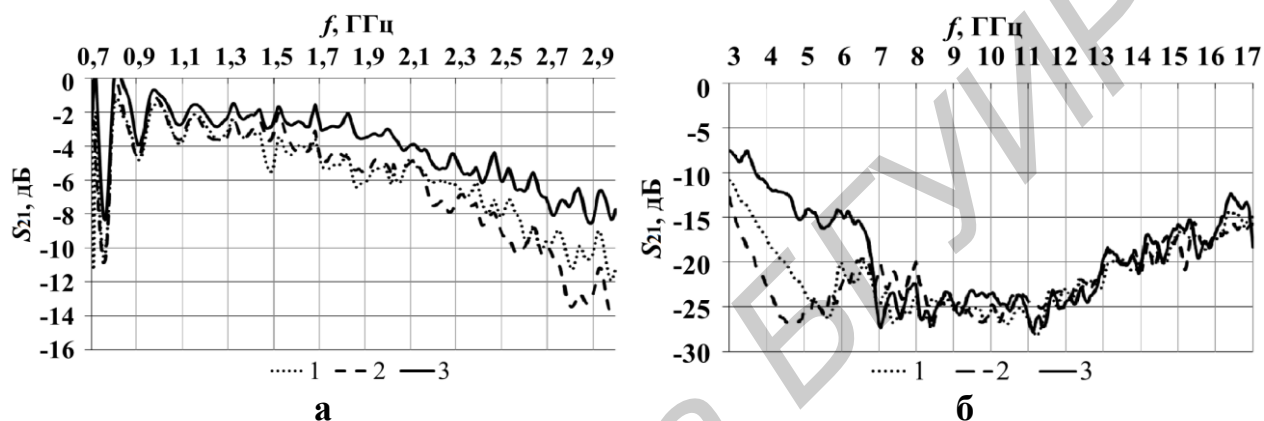
перлита, который характеризуется массой в 5...10 раз меньшей величины аналогичного параметра для иных компонентов, используемых для создания композиционных РПМ. Пористость перлита обуславливает его способность впитывать 400...800 масс. % влаги и удерживать ее в течение длительного промежутка времени, что позволит изготавливать на его основе композиционные РПМ и конструкции электромагнитных экранов с требуемыми величинами влагосодержания, а значит, характеристиками отражения и передачи ЭМИ. Марки выпускаемого на промышленной основе порошкообразного перлита отличаются пористостью и размером фракций (1...5 мм). Это позволит исключить необходимость его дробления, а значит, сократить время изготовления на его основе электромагнитных экранов с требуемыми значениями коэффициентов отражения и передачи ЭМИ.

**Во второй главе** представлены методики измерения коэффициентов отражения и передачи ЭМИ, коэффициента спектральной яркости, степени поляризации и параметров микрорельефа поверхности конструкций экранов. Также приведены методики для оценки влияния уровней мощности излучения на его ослабление такими конструкциями и представлен алгоритм расчета радиуса контролируемой зоны ПЭМИ СВТ.

**В третьей главе** представлены результаты исследования влияния размера фракций порошкообразного перлита и типа матрицы, в которой он закрепляется, на его характеристики отражения и передачи ЭМИ. Показано, что увеличение с 0,5 до 3 мм размера фракций перлита приводит к увеличению с  $-4$  до  $-1$  дБ значений коэффициента передачи ЭМИ и снижению с  $-3$  до  $-6$  дБ значений коэффициента отражения ЭМИ (при использовании металлического отражателя) в диапазоне частот 3...17 ГГц конструкций электромагнитных экранов, выполненных в виде твердотельных емкостей толщиной 1 см, заполненных таким порошкообразным материалом. Значения величин указанных параметров в диапазоне частот 0,7...3 ГГц остаются практически неизменными. Масса  $1 \text{ м}^2$  рассматриваемых конструкций составляет 0,5...1,5 кг в зависимости от размера фракций использованного для ее формирования порошкообразного перлита.

Для снижения значений коэффициента передачи ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц конструкций электромагнитных экранов на основе порошкообразного перлита, предложено в его поры инкорпорировать водные растворы хлорида кальция. Показано, что конструкции электромагнитных экранов, выполненные в виде твердотельных емкостей толщиной 1 см, заполненные порошкообразным перлитом, в поры которого инкорпорирован водный раствор хлорида кальция с концентрацией 10 масс. %, характеризуются значениями коэффициентов отражения и передачи ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц, составляющими соответственно  $-5$ ... $-25$  дБ и  $-1$ ... $-25$  дБ (рисунок 1). Увеличение с 10 до 40 масс. % концентрации инкорпорированного водного раствора хлорида кальция приводит к снижению на 10...20 дБ значений коэффициента передачи ЭМИ в диапазоне частот 0,7...3 ГГц рассматриваемых конструкций и увеличению значений коэффициента отражения ЭМИ в указанном диапазоне не более, чем на 5 дБ.

В диапазоне частот 3...17 ГГц величина коэффициента передачи ЭМИ таких конструкций при этом остается практически неизменной. Уменьшение с 3 до 0,5 мм размера фракций перлита, в поры которого инкорпорирован указанный раствор, приводит к снижению на 3...15 дБ значений коэффициента передачи ЭМИ в диапазоне частот 3...7 ГГц указанных выше конструкций. Масса их 1 м<sup>2</sup> составляет 1,5...6 кг и увеличивается в среднем на 1 кг при уменьшении с 3 до 0,5 мм размера фракций используемого для их формирования перлита или при увеличении от 10 до 40 масс. % концентрации инкорпорированного в его поры водного раствора хлорида кальция.



Диапазон частот: а – 0,7...3 ГГц; б – 3...17 ГГц

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

**Рисунок 1. – Частотные зависимости коэффициента передачи ЭМИ конструкции электромагнитного экрана на основе порошкообразного перлита, в поры которого инкорпорирован 10%-й водный раствор хлорида кальция**

Установлено, что при увеличении с 0,3 до 1 см толщины композиционных материалов, основанных на введении порошкообразного перлита в цементную или гипсовую матрицы, значения их коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне 0,7...17 ГГц увеличиваются не более, чем на 8 дБ. Значения коэффициента передачи ЭМИ в указанном диапазоне для композиционных материалов на основе порошкообразного перлита, закрепленного в цементной матрице, остаются при этом практически неизменными, а для материалов на основе порошкообразного перлита, закрепленного в гипсовой матрице, – уменьшаются на 5...20 дБ. Показано, что величины коэффициентов отражения и передачи ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц для композиционных материалов на основе порошкообразного перлита, закрепленного в цементной матрице, при их толщине 1 см составляют соответственно –2...–18 дБ и –5...–25 дБ. Значения коэффициента передачи ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц композиционных материалов на основе порошкообразного перлита, закрепленного в гипсовой матрице, превышают не более, чем на 10 дБ величину аналогичного параметра для материалов на основе порошкообразного перлита, закрепленного в цементной матрице.

Установлено, что значения коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне частот 0,7...3 ГГц в среднем на 5 дБ ниже величины аналогичного параметра для композитов, основанных на введении порошкообразных отходов плавки чугуна или шунгита в цементную матрицу (при схожих значениях коэффициента передачи ЭМИ в указанном диапазоне частот и толщине).

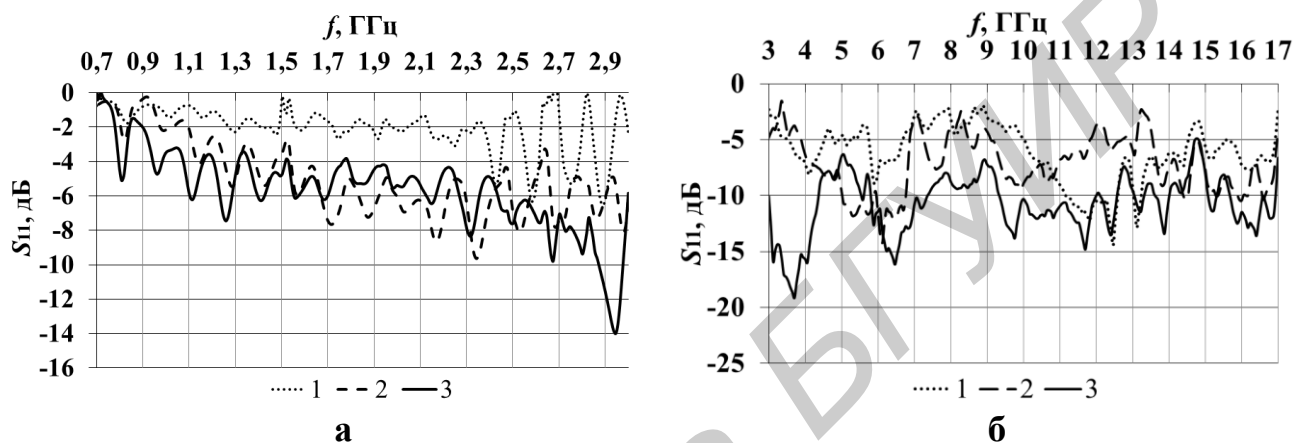
Показано, что увеличение с 0,5 до 3 мм размера фракций порошкообразного перлита, закрепляемого в цементной матрице, приводит к снижению на 5...10 дБ значений коэффициента отражения ЭМИ и увеличению на 2...10 дБ значений коэффициента передачи ЭМИ в диапазоне частот 0,7...12 ГГц композита на основе такого материала. В диапазоне 12...17 ГГц величины указанных параметров остаются практически неизменными. Изменение с 0,5 до 3 мм размера фракций порошкообразного перлита, закрепляемого в гипсовой матрице, приводит к снижению на 2...17 дБ значений коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне частот 3...17 ГГц композита на основе такого материала. Значения его коэффициента отражения в диапазоне частот 0,7...3 ГГц и коэффициента передачи ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц остаются практически неизменными. Масса 1 м<sup>2</sup> рассматриваемых композиционных материалов толщиной 1 см составляет 8...13 кг (при объемном соотношении порошкообразного перлита и связующего вещества – 1:1). Указанное объемное соотношение является наиболее оптимальным, т.к. увеличение процентного содержания порошкообразного перлита в рассматриваемых композитах приводит к ухудшению их прочностных свойств, а уменьшение – к увеличению на 30...100 % их массы при практически неизменных значениях коэффициентов отражения и передачи ЭМИ.

Установлено, что значения коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц композиционных материалов, основанных на введении порошкообразного перлита в полимерную матрицу (водоэмульсионная краска, силиконовый герметик) составляют –0,1...–25 дБ, а значения коэффициента передачи ЭМИ –0,1...–1,8 дБ (независимо от размера фракций используемого порошкообразного перлита). Уменьшение значений коэффициента передачи ЭМИ может быть достигнуто за счет формирования многослойных конструкций электромагнитных экранов, состоящих из металлической фольги, на поверхность которой нанесен исследуемый материал. Установлено, что значения коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц таких конструкций составляют –0,5...–8 дБ, а значения коэффициента передачи ЭМИ до –40 дБ.

**В четвертой главе** разработаны модульные конструкции электромагнитных экранов, выполненные из листового сотового поликарбоната, заполненного порошкообразным перлитом, пропитанным водным раствором хлорида кальция. Средние значения коэффициентов отражения (при использовании металлического отражателя) и передачи ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц таких конструкций толщиной 1 см составляют –15 дБ и –6 дБ соответственно. Показано, что при увеличении с 1 до 3 см толщины таких конструкций величины указанных параметров уменьшаются до

–25 дБ и –8 дБ соответственно. Масса  $1 \text{ м}^2$  конструкций составляет 3,5...14 кг.

Показано, что снижение значений коэффициента передачи ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц конструкций электромагнитных экранов, выполненных из листового сотового поликарбоната, заполняемого порошкообразным перлитом, обеспечивается также за счет введения в них порошкообразного титаномагнетита (50 % по объему). Установлено, что значения коэффициентов отражения (при использовании металлического отражателя) и передачи ЭМИ таких конструкций в диапазоне частот 0,7...17 ГГц составляют в среднем –4 дБ и –5 дБ соответственно (рисунок 2).



Диапазон частот: а – 0,7...3 ГГц; б – 3...17 ГГц

Толщина конструкции электромагнитного экрана: 1 – 1 см; 2 – 2 см; 3 – 3 см

**Рисунок 2. – Частотные зависимости коэффициента отражения ЭМИ конструкции электромагнитного экрана на основе порошкообразных перлита и титаномагнетита, закрепленной на металлической подложке**

Показано, что увеличение с 1 до 3 см толщины таких конструкций приводит к снижению величин указанных параметров до –14 дБ и –10 дБ соответственно. Масса таких конструкций превышает на 10...37 кг/м<sup>2</sup> (в зависимости от толщины) величину аналогичного параметра для конструкций на основе порошкообразного перлита, пропитанного водным раствором хлорида кальция.

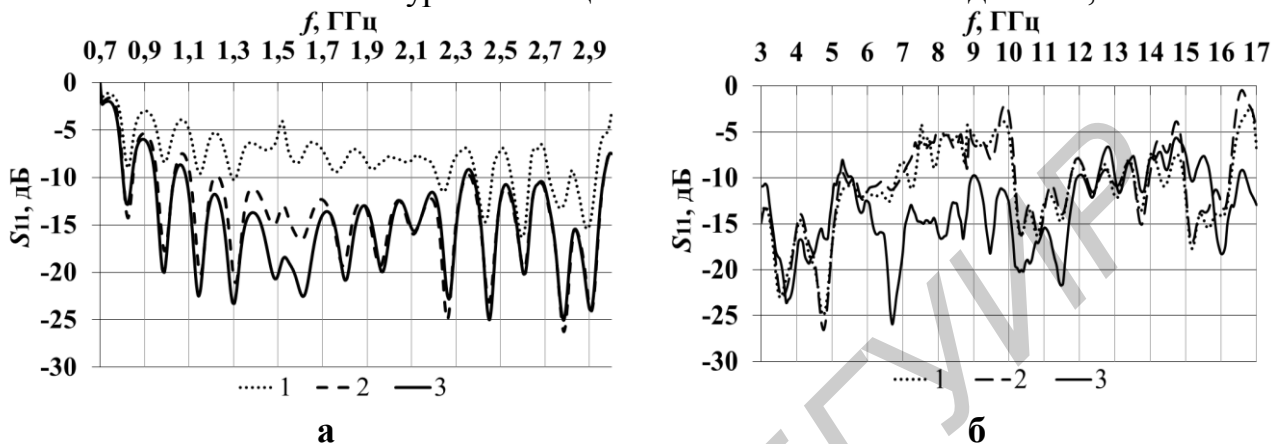
Для уменьшения значений коэффициента отражения ЭМИ (при использовании металлического отражателя) в диапазоне частот 0,7...3 ГГц конструкций электромагнитных экранов на основе перлита, пропитанного водным раствором хлорида кальция, а также конструкций на основе перлита и титаномагнетита предложено формировать их в виде емкостей с геометрически неоднородной поверхностью (усеченные пирамиды), заполняемых указанными порошкообразными материалами. Показано, что значения коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне частот 0,7...3 ГГц таких конструкций на 5...10 дБ ниже величины аналогичного параметра для конструкций с плоской поверхностью (при высоте геометрических неоднородностей, равной 4 см). Установлено, что увеличение с 4 до 10 см высоты геометрических неоднородностей поверхности конструкций на основе перлита и титаномагнетита, закрепленных на металлических подложках,

приводит к снижению на 3...15 дБ значений их коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц. Масса предложенных конструкций на основе порошкообразного перлита, пропитанного водным раствором хлорида кальция, составляет 4...6 кг/м<sup>2</sup>, а конструкций на основе смеси порошкообразных перлита и титаномагнетита – 39...60 кг/м<sup>2</sup> (в зависимости от размера фракций использованного для их формирования порошкообразного перлита или высоты геометрических неоднородностей поверхности).

Разработаны гибкие многослойные конструкции электромагнитных экранов с псевдопирамидальными и псевдоклиновидными геометрическими неоднородностями поверхности. Первый слой таких конструкций (относительно направления распространения ЭМВ) представляет собой изготовленную из полимерного радиопрозрачного материала (лавсан-полиэтиленовой пленки) емкость, заполненную порошкообразным перлитом, пропитанным водным раствором хлорида кальция. Второй слой конструкций сформирован на основе фольгированного пенополиэтилена. Такие конструкции характеризуются значениями коэффициентов отражения и передачи ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц, составляющими соответственно –1...–25 дБ и –15...–50 дБ. Показано, что в результате поворота относительно источника излучения в горизонтальной плоскости на 90° гибкой конструкции электромагнитного экрана с псевдоклиновидными геометрическими неоднородностями поверхности, значения ее коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне частот 0,7...3 ГГц изменяются на 3...20 дБ. Так как масса 1 м<sup>2</sup> разработанных конструкций составляет 1,2...4,8 кг, то их предложено использовать для скрытия наземных объектов в радиолокационном диапазоне длин волн.

Для формирования монолитных отделочных модулей с геометрически неоднородной поверхностью предложено закреплять порошкообразный перлит в цементной или гипсовой матрице. Установлено, что значения коэффициентов отражения (при использовании металлического отражателя) и передачи ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц таких модулей составляют соответственно –1...–25 дБ и –10...–35 дБ. Показано, что изменение размера фракций порошкообразного перлита (с 0,5 до 3 мм) и/или типа матрицы, в которой он закрепляется (цементная, гипсовая), приводит к изменению на 1...15 дБ значений коэффициента передачи ЭМИ и не более, чем на 5 дБ значений коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц экранирующих модулей на основе такого материала (рисунок 3). Показано, что масса таких модулей составляет 18...32 кг/м<sup>2</sup> и в 2...4 меньше величины аналогичного параметра для модулей, изготовленных на основе других порошкообразных материалов (шунгит, порошкообразные отходы плавки чугуна и т.п.) и характеризующихся схожими величинами коэффициента передачи ЭМИ. Установлено, что значения коэффициента отражения ЭМИ (при использовании металлического отражателя) в диапазоне частот 0,7...3 ГГц разработанных модулей в среднем на 5 дБ ниже величины аналогичного параметра для модулей на основе других порошкообразных материалов (шунгит, порошкообразные отходы плавки чугуна и т.п.).

Показано, что значения коэффициентов отражения и передачи ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц исследуемых модулей 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 %. Разработанные монолитные отделочные модули обеспечивают снижение уровня мощности ЭМИ с 1...5 мВт до 0...0,25 мВт.



Диапазон частот: а – 0,7...3 ГГц; б – 3...17 ГГц

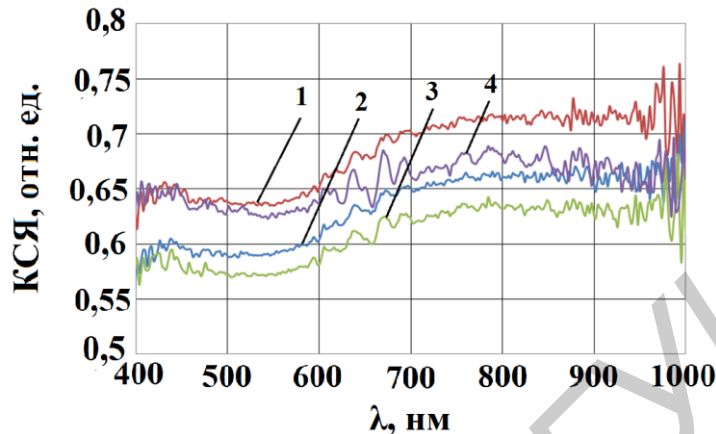
Размер фракций порошкообразного перлита: 1 – 0,5 мм; 2 – 1...3 мм; 3 – 3 мм

**Рисунок 3. – Частотные зависимости коэффициента отражения ЭМИ монолитных отделочных модулей, закрепленных на металлических подложках**

Разработана конструкция электромагнитного экрана, представляющая собой целлюлозную основу с геометрическими неоднородностями поверхности (усеченные пирамиды высотой 4 см), покрытую композиционным материалом на основе порошкообразного перлита, закрепленного в гипсовой матрице (толщина покрытия – 3...5 мм). Показано, что значения коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц таких конструкций (при использовании металлического отражателя) составляют соответственно –2...–20 дБ. Разработанные конструкции характеризуются в среднем в 5 раз меньшей массой по сравнению с монолитными отделочными модулями на основе порошкообразного перлита, что позволяет предложить их использование для снижения коэффициента отражения ЭМИ от стен помещения, экранированного с применением металлических материалов. Показано, что разработанные конструкции электромагнитных экранов обеспечивают ослабление мощности ЭМИ от 1...5 мВт до 0...3 мВт.

Для создания средств снижения заметности наземных объектов на фоне подстилающих поверхностей предложены конструкции спектрально-поляризационных имитаторов, основанные на введении порошкообразного перлита в полимерную матрицу (прозрачный силиконовый герметик). Установлено, что значения коэффициента спектральной яркости таких конструкций составляют 0,32...0,7 отн. ед., а степени поляризации – 0,02...0,2 отн. ед. в диапазоне длин ЭМВ 400...1000 нм (рисунок 4). Показано, что увеличение угла визирования от 0° до 65° приводит к снижению КСЯ разработанных конструкций на 0,01...0,07 отн. ед. и увеличению СП на

0,05...0,15 отн. ед. Высота шероховатостей и глубина дефектов их поверхности – не более 115 и 65 мкм соответственно. С учетом значений коэффициента спектральной яркости и степени поляризации разработанных имитаторов их предложено использовать для скрытия наземных объектов на фоне сухого снега с настом и песков.



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

**Рисунок 4. – Зависимость КСЯ спектрально-поляризационного имитатора от длины ЭМВ**

На основе порошкообразного перлита, закрепленного в гипсовой матрице, разработаны устройства защиты информации, обрабатываемой средствами вычислительной техники, от утечки по каналу побочных электромагнитных излучений. Показано, что разработанные устройства обеспечивают снижение уровня таких излучений до 1,5 раз и радиуса их контролируемой зоны до 4 раз. Разработано устройство (стол), предназначенное для экранирования средств вычислительной техники. Внутреннее пространство устройства разделено на секции, в которых размещаются экранирующие ЭМИ модули на основе порошкообразного перлита. Расположение секций обеспечивает электромагнитное экранирование устанавливаемого внутрь стола средства вычислительной техники.

Разработаны устройства для экранирования оконных проемов помещений, где располагаются средства вычислительной техники. 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 составляют –0,5...–8 дБ, а коэффициента передачи ЭМИ в указанном диапазоне –15...–40 дБ.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

### **Основные научные результаты диссертации**

1. Предложены конструкции электромагнитных экранов, выполненные из листового сотового поликарбоната, заполненного порошкообразным перлитом, в поры которого методом пропитки инкорпорирован водный

раствор хлорида кальция с концентрацией 10 масс. %. Показано, что значения коэффициентов отражения и передачи ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц таких конструкций толщиной 1 см составляют соответственно -5...-25 дБ и -1...-25 дБ. Масса 1 м<sup>2</sup> конструкций составляет 1,5...3,5 кг (в зависимости от размера фракций использованного для их формирования порошкообразного перлита). Увеличение с 10 до 40 масс. % концентрации инкорпорируемого водного раствора хлорида кальция приводит к снижению на 10...20 дБ значений коэффициента передачи ЭМИ в диапазоне частот 0,7...3 ГГц разработанных конструкций и увеличению значений коэффициента отражения ЭМИ в указанном диапазоне не более, чем на 5 дБ. В диапазоне частот 3...17 ГГц величина коэффициента передачи ЭМИ таких конструкций при этом остается практически неизменной [7, 8, 15].

2. Для снижения значений коэффициента передачи ЭМИ конструкций электромагнитных экранов, заполняемых порошкообразным перлитом, предложено вводить в них порошкообразный титаномагнетит (50 % по объему). Показано, что в результате этого значения коэффициента передачи ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц таких конструкций (толщина 1...3 см) уменьшаются с -3 до -10 дБ. Значения коэффициента отражения ЭМИ (при использовании металлического отражателя) снижаются при этом с -3 до -10 дБ. Масса таких конструкций составляет 13...40 кг/м<sup>2</sup> (в зависимости от их толщины). Для снижения значений коэффициента отражения ЭМИ конструкций электромагнитных экранов на основе перлита и титаномагнетита предложено изготавливать их в виде емкостей с геометрически неоднородной поверхностью, заполняемых такими порошкообразными материалами. Установлено, что величина указанного параметра в диапазоне частот 0,7...3 ГГц для предложенных конструкций составляет -1...-15 дБ, а в диапазоне 3...17 ГГц -1...-25 дБ (при высоте геометрических неоднородностей поверхности, равной 4 см). Показано, что увеличение с 4 до 10 см высоты геометрических неоднородностей поверхности конструкций электромагнитных экранов на основе порошкообразных перлита и титаномагнетита приводит к уменьшению значений их коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне частот 0,7...3 ГГц до величин -5...-35 дБ [17, 21, 25].

3. На основе порошкообразного перлита, закрепленного в цементной или гипсовой матрице, разработаны монолитные отделочные модули с геометрическими неоднородностями поверхности в виде усеченных пирамид высотой 4 см. Показано, что значения коэффициентов отражения (при использовании металлического отражателя) и передачи ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц разработанных конструкций составляют соответственно -1...-25 дБ и -10...-35 дБ. Установлено, что значения коэффициента отражения ЭМИ (при использовании металлического отражателя) в диапазоне частот 0,7...17 ГГц таких модулей в среднем на 5 дБ ниже величины аналогичного параметра для модулей на основе других порошкообразных материалов (шунгит, порошкообразные отходы плавки чугуна и т.п.). Показано, что изменение размера фракций порошкообразного



перлита (с 0,5 до 3 мм) и/или типа матрицы, в которой он закрепляется (цементная, гипсовая), приводит к изменению на 1...15 дБ значений коэффициента передачи ЭМИ и не более, чем на 5 дБ значений коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц разработанных модулей. Их масса в 2...4 раза меньше массы модулей, характеризующихся схожими значениями коэффициентов передачи ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц. Для снижения материалоемкости конструкций электромагнитных экранов на основе порошкообразного перлита, закрепленного в цементной или гипсовой матрице, предложено изготавливать их в виде целлюлозных основ с геометрически неоднородной поверхностью, на которую слоем 3...5 мм нанесен такой материал. По сравнению с разработанными монолитными отделочными модулями масса 1 м<sup>2</sup> предложенных конструкций в среднем в 5 раз ниже. Значения их коэффициента отражения ЭМИ (при использовании металлического отражателя) в диапазоне частот 0,7...17 ГГц составляют -2...-20 дБ [10, 11, 12, 14, 20, 31, 33].

4. В результате введения порошкообразного перлита в полимерную матрицу (прозрачный силиконовый герметик) получены конструкции спектрально-поляризационных имитаторов, характеризующиеся значениями коэффициента спектральной яркости 0,4...0,7 отн. ед. и степени поляризации 0,01...0,2 отн. ед. в диапазоне длин ЭМВ 400...1000 нм при изменении угла визирования от 0° до 65°. Показано, что при уменьшении с 3 до 0,5 мм размера фракций порошкообразного перлита значения коэффициента спектральной яркости имитаторов на его основе уменьшаются с 0,6...0,7 до 0,32...0,5. Значения степени поляризации при этом уменьшаются с 0,02...0,2 до 0,02...0,15. Установлено, что значения высоты шероховатостей и глубины дефектов разработанных спектрально-поляризационных имитаторов составляют соответственно не более 115 и 65 мкм и определяются размером фракций использованного для их изготовления порошкообразного перлита [1, 2, 3, 24, 28].

### **Рекомендации по практическому использованию результатов**

1. Предложено использовать измерительную систему, состоящую из генератора качающейся частоты, СВЧ-тракта и измерителя мощности, для оценки характеристик ослабления электромагнитного излучения в диапазоне частот 0,7...17 ГГц при различной интенсивности такого излучения (1...5 мВт), по мере увеличения которой указанные характеристики могут изменяться [4].

2. Разработаны конструкции электромагнитных экранов на основе порошкообразного перлита с различными компонентами (водный раствор хлорида кальция, титаномагнетит), а также конструкции на основе порошкообразного перлита, закрепленного в цементной или гипсовой матрице. Они обеспечивают снижение уровней мощности электромагнитного излучения в диапазоне частот 0,7...17 ГГц с 1...5 мВт до 0...3 мВт и уменьшение до 4 раз радиуса контролируемой зоны побочного

электромагнитного излучения средств вычислительной техники, что позволяет предложить их использование для электромагнитного экранирования помещений, в которых размещаются такие средства. Значения коэффициентов отражения и передачи электромагнитного излучения в диапазоне частот 0,7...17 ГГц разработанных конструкций на основе порошкообразного перлита, закрепленного в гипсовой матрице, 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 % [5, 6, 9, 13, 16, 18, 19, 23, 26, 27, 29, 30, 32].

3. Предложенные гибкие конструкции электромагнитных экранов (на основе порошкообразного перлита, пропитанного водным раствором хлорида кальция или закрепленного в полимерной матрице (силиконовом герметике)) характеризуются значениями коэффициентов отражения электромагнитного излучения в диапазоне частот 0,7...17 ГГц (при использовании металлического отражателя) до -25 дБ и массой до 1,2 кг/м<sup>2</sup> при толщине 0,7 мм, что позволяет рекомендовать их применение для скрытия наземных объектов в радиолокационном диапазоне длин волн [22].

4. Разработаны конструкции спектрально-поляризационных имитаторов, основанные на введении порошкообразного перлита в полимерную матрицу (прозрачный силиконовый герметик). Полученные значения коэффициента спектрального контраста сухого снега с настом и разработанных конструкций (0,002...0,04) позволяют предложить их использование для скрытия в оптическом диапазоне длин волн (400...1000 нм) наземных объектов на фоне указанной подстилающей поверхности [1, 34, 35].

В приложениях представлены акты об использовании и внедрении результатов диссертационной работы, а также копия диплома 7-й международной выставки вооружения и военной техники «MILEX-2014».

**СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ****Монография**

1. Бойправ, О.В. Комбинированные материалы для имитации естественных сред в видимом и инфракрасном диапазонах длин волн для систем защиты информации / Омер Джамаль Саад Абулькасим, Е.С. Белоусова, О.В. Бойправ, Ю.В. Беляев, Л.М. Лыньков; под. ред. Л.М. Лынькова. – Минск: Бестпринт, 2014. – 159 с.

**Статьи в научных журналах**

2. Бойправ, О.В. Метод анализа и расчета характеристик спектральной яркости композиционных материалов / О.В. Бойправ, Д.В. Столер, Т.В. Борботько // Доклады БГУИР. – 2012. – № 6 (68). – С. 19–24.

3. Бойправ, О.В. Влияние микрорельефа поверхности композитных материалов на их оптические свойства / О.В. Бойправ, Д.В. Столер, Т.В. Борботько, А.А. Казека // Доклады БГУИР. – 2013. – № 4 (74). – С. 16–21.

4. 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.

5. 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.

6. 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: 21.06.2014.

7. 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.

8. 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.

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

11. 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 [и др.] – Минск: Энциклопедикс, 2013. – С. 275–278.

12. 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 [и др.]. – Минск, 2013. – С. 124–125.

13. Бойправ, О.В. Синтез порошкообразных материалов на основе перлита и шунгита для конструкций экранов электромагнитного излучения / О.В. Бойправ, Е.С. Белоусова, Т.В. Борботько // Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных: матер. Междунар. науч.-техн. сем. Минск, апр.–дек., 2013 г. / БГУИР; редкол.: М.Н. Бобов [и др.]. – Минск, 2013. – С. 75–80.

14. 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 [и др.]. – Минск, 2013. – С. 90–94.

15. 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 [и др.]. – Тольятти: Русе, 2013. – С. 129–139.

16. Boiprav, O.V. Electromagnetic shielding properties of composite materials based on perlite and shungite / O.V. Boiprav, E.S. Belousova, L.M. Lynkou, T.V. Borbotko // 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.

17. Бойправ, О.В. Конструкции экранов электромагнитного излучения на основе перлита и титаномангнетита / 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 [и др.]. – Минск, 2014. – Ч. 1. – С. 326–327.

18. Бойправ, О.В. Экранирующие электромагнитное излучение огнестойкие покрытия на основе перлита и технического углерода / О.В. Бойправ, Е.С. Белоусова, Л.М. Лыньков, Т.В. Борботько // Обеспечение безопасности жизнедеятельности: сб. матер. VIII Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, Минск, 3–4 апр. 2014 г. / КИИ; редкол.: Д.В. Криваль [и др.]. – Минск, 2014. – Ч. 1. – С. 20–21.

19. Бойправ, О.В. Характеристики отражения и ослабления электромагнитного излучения перлитом, пропитанным спиртами / О.В. Бойправ // Физика конденсированного состояния: матер. XXII междунар. науч.-практ. конф аспирантов, магистрантов и студентов, Гродно, 17–18 апр. 2014 г. / ГрГУ им. Я. Купалы; редкол.: В.Г. Барсуков [и др.]. – Гродно, 2014. – С. 77–79.

20. 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 [и др.]. – Минск: Энциклопедикс, 2014. – С. 175–179.

21. Бойправ, О.В. Материалы на основе порошкообразных отходов плавки чугуна и перлита для экранов электромагнитного излучения / О.В. Бойправ, Т.В. Борботько, Л.Л. Ганьков // Актуальные научно-технические экологические проблемы сохранения среды обитания: сб. науч. статей Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 23–25 апр. 2014 г. / Редкол.: А.А. Волчек [и др.]. – Брест, 2014. – Ч. 1. – С. 35–40.

22. 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.

23. 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 [и др.]. – Севастополь, 2014 – С. 268.

24. 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 [и др.]. – Гомель, 2014. – Ч. 1. – С. 12–14.

25. 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 [и др.] – Севастополь, 2014. – С. 639–640.

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 [и др.]. – Минск, 2014. – С. 25–26.

27. 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 [и др.]. – Минск, 2014. – С. 61–62.

28. 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 [и др.]. – Минск, 2014. – С. 159–160.

29. Бойправ, О.В. Многослойные конструкции экранов на основе порошкообразного перлита для защиты информации от утечки по техническим каналам // О.В. Бойправ, Т.В. Борботько // Управление информационными ресурсами: матер. XI Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 12 дек. 2014 г. / Акад. упр. при Президенте Респ. Беларусь; редкол. А.В. Ивановский [и др.]. – Минск, 2014. – С. 163–164.

30. Бойправ, О.В. Ослабление мощности электромагнитного излучения конструкциями экранов с геометрически неоднородной поверхностью на основе композиционных материалов // О.В. Бойправ, Т.В. Борботько, М.А.Х. Мусави // Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных: матер. Междунар. науч.-техн. сем. Минск, апр.–дек., 2014 г. / БГУИР; редкол. М.Н. Бобов [и др.]. – Минск, 2014. – С. 73–76.

### Тезисы докладов

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

32. 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 [и др.]. – Минск, 2014. – С. 47.

**Патенты**

33. Устройство для ослабления энергии электромагнитных волн : пат. 9130 Респ. Беларусь, МПК H01Q 17/00 / Л.М. Лыньков, О.В. Бойправ, Т.В. Борботько, В.Б. Соколов; заявитель учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники». – № u20120606; заявл. 13.06.2012; опубл. 30.04.2013. // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2013. – № 2 (91). – С. 210.

34. Широкополосный спектрально-поляризационный имитатор природных объектов : пат. 9647 Респ. Беларусь, МПК F 41H 3/00 / Л.М. Лыньков, Т.В. Борботько, О.В. Бойправ, Д.В. Столер; заявитель учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники». – № u20130363; заявл. 23.04.2013; опубл. 30.10.2013. // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2013. – № 5 (94). – С. 222.

35. Спектрально-поляризационный имитатор растительных сред : пат. 9667 Респ. Беларусь, МПК F 41H 3/00 / Ю.В. Беляев, Джамаль Саад Омер Аб, Л.М. Лыньков, О.В. Бойправ, Т.В. Борботько; заявитель учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» – заявл. 21.05.2013; опубл. 30.10.2013. // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2013. – № 5 (94). – С. 222.



**РЭЗІЮМЭ**

Бойпраў Вольга Уладзіміраўна

**Экраны электрамагнітнага выпраменьвання  
на аснове парашкаваобразнага перліту  
для пасіўных тэхнічных сродкаў абароны інфармацыі**

**Ключавыя словы:** канал пабочных электрамагнітных выпраменьванняў, каэфіцыент адлюстравання, каэфіцыент перадачы, перліт, электрамагнітныя экраны, электрамагнітнае выпраменьванне.

**Мэта працы:** распрацоўка кампазіцыйных матэрыялаў на аснове парашкаваобразнага перліту для электрамагнітных экранаў, якія характарызуюцца паніжанай масай, і даследаванне іх каэфіцыентаў адлюстравання і перадачы электрамагнітнага выпраменьвання, каэфіцыента спектральнай яркасці і ступені палярызацыі.

**Метады даследавання і выкарастаная апаратура:** характарыстыкі адлюстравання, перадачы і паслаблення магутнасці 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 спектрадыёметра ПСР-02, параметры мікрарэльефа паверхні вымераны з выкарыстаннем мікраметра ФОМ-2-16.

**Атрыманая вынікі і іх навізна:** прапанавана выкарыстоўваць парашкаваобразны перліт ў якасці асноўнага матэрыялу для стварэння канструкцый электрамагнітных экранаў. Устаноўлена, што распрацаваныя канструкцыі экранаў (таўшчыня – 1 см) характарызуюцца каэфіцыентамі адлюстравання да –15 дБ і перадачы ЭМВ да –25 дБ ў дыяпазоне частот 0,7...17 ГГц, значэнні якіх залежаць ад памеру фракцый парашкаваобразнага перліту (0,5...3 мм), канцэнтрацыі воднага раствору хларыду кальцыя (10...40 мас. %), які інкапаруецца ў яго, і матэрыялу, у якім замацоўваецца парашкаваобразны перліт.

Паказана магчымасць атрымання на аснове парашкаваобразнага перліту канструкцый электрамагнітных экранаў са зніжанай масай да значэння  $1,2 \text{ кг/м}^2$  пры таўшчыні 0,7 см. Даследаваны каэфіцыент спектральнай яркасці і ступень палярызацыі ў дыяпазоне даўжынь хваль 400...1000 нм канструкцый спектральна-палярызацыйных імітатараў на аснове парашкаваобразнага 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 «Компомат-8») і навучальным працэсе установы адукацыі «Беларускі дзяржаўны ўніверсітэт інфарматыкі і радыёэлектронікі».

**Вобласть ужывання:** інфармацыйная бяспека.



**РЕЗЮМЕ**

Бойправ Ольга Владимировна

**Экраны электромагнитного излучения на основе порошкообразного перлита для пассивных технических средств защиты информации**

**Ключевые слова:** канал побочных электромагнитных излучений, коэффициент отражения, коэффициент передачи, перлит, электромагнитные экраны, электромагнитное излучение.

**Цель работы:** разработка композиционных материалов на основе порошкообразного перлита для электромагнитных экранов, характеризующихся пониженной массой, и исследование их коэффициентов отражения и передачи электромагнитного излучения, коэффициента спектральной яркости и степени поляризации.

**Методы исследования и использованная аппаратура:** характеристики отражения, передачи и ослабления мощности 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 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 коэффициентами отражения до –15 дБ и передачи ЭМИ до –25 дБ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц, значения которых зависят от размера фракций порошкообразного перлита (0,5...3 мм), концентрации инкорпорируемого в него водного раствора хлорида кальция (10...40 масс. %) и материала, в котором закрепляется порошкообразный перлит.

Показана возможность получения на основе порошкообразного перлита конструкций электромагнитных экранов со сниженной массой до значения 1,2 кг/м<sup>2</sup> при толщине 0,7 см. Исследованы коэффициент спектральной яркости и степень поляризации в диапазоне длин волн 400...1000 нм конструкций 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 radiation shields based on powdered perlite for the passive technical means of information protection**

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

**Aim of the work:** development of composite materials based on powdered perlite for electromagnetic radiation shields, characterized by low weight, and research of their electromagnetic radiation reflection and transmission coefficients, spectral brightness coefficient and degree of polarization.

**Research methods and used facilities:** electromagnetic radiation reflection, transmission and power attenuation 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 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 reflection coefficient to –15 dB and transmission coefficient to –25 dB in the frequency range 0.7...17 GHz. The coefficients values depend on the fractions size of powdered perlite (0.5...3 mm), the concentration of incorporated calcium chloride aqueous solution (10...40 wt. %) and the material, wherein powdered perlite fixed.

The possibility of obtaining the electromagnetic shield constructions with reduced weight ( $1.2 \text{ kg/m}^2$  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 buildind 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**

**ЭКРАНЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ  
ПОРОШКООБРАЗНОГО ПЕРЛИТА ДЛЯ ПАССИВНЫХ  
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 07.04.2015.	Формат 60x84 <sup>1</sup> / <sub>16</sub> .	Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс».	Отпечатано на ризографе.	Усл. печ. л. 1,63.
Уч. изд. л. 1,5.	Тираж 60 экз.	Заказ 117.

---

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.