

Учреждение образования  
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

УДК 004.353.2-049.7:536.5

**ПУХИР**  
**Галина Александровна**

**ЭКРАНЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ  
ВЛАГОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ, ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ПРИ  
РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ В СИСТЕМАХ 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 **Насонова Наталья Викторовна**, кандидат технических наук, доцент, доцент 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 Учреждение образования «Белорусская государственная академия связи»

Защита состоится «29» сентября 2016 г. в 14.00 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 «26» августа 2016 г.

Ученый секретарь совета  
по защите диссертаций,  
доктор технических наук, профессор



А.А. Борискевич

## **КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ**

Электромагнитные излучения технических средств обработки информации создают большие возможности ее утечки и получения через анализ демаскирующих признаков, что обуславливает необходимость применения пассивных технических средств защиты информации.

Использование эффективных экранирующих материалов предъявляет дополнительные требования к массогабаритным характеристикам экранов, функциональности применяемого материала для обеспечения удобства эксплуатации защищаемого объекта и получения изделий различной конфигурации, адаптированных под конкретные условия применения.

Для повышения эффективности экранирования и расширения частотного диапазона действия экранов электромагнитного излучения широко используются композиционные материалы имеющие в своей структуре различные включения или сочетающие в себе несколько слоев различных по свойствам материалов.. Влагосодержащие материалы позволяют достигать высоких значений эффективности экранирования в СВЧ-диапазоне, однако воздействие повышенных или пониженных температур на такие экраны может дестабилизировать их экранирующие характеристики. Следовательно, целью диссертационной работы является разработка экранов электромагнитного излучения для средств защиты информации от утечки по электромагнитному и оптическому каналам на основе влагосодержащих материалов при эксплуатации в условиях воздействия различных температур.

## **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» № 363-О от 30.12.2009 г. и соответствует подразделу 5.5 «Методы, средства и технологии обеспечения информационной безопасности при обработке, хранении и передаче данных с использованием криптографии, квантово-криптографических систем» и 8.4 «Новые композиционные материалы на основе металлов, керамики и углерода, нано- и микроструктурированные материалы и способы их синтеза, нанотехнологии, моделирование и создание адаптивных материалов» приоритетных направлений фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2011–2015 гг., утвержденных Постановлением Совета Министров Республики Беларусь 19 апреля 2010 г., № 585.

Работа выполнялась в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» в рамках научно-исследовательской работы ГБ № 11-2022 «Разработка средств защиты информации от утечки по техническим каналам (2011 г. – по настоящий момент, № ГР 20115132).

### **Цель и задачи исследования**

Целью настоящей работы является разработка экранов электромагнитного излучения на основе волокнистых и порошковых влагосодержащих материалов в различных связующих основах, сохраняющих экранирующие характеристики при эксплуатации в условиях воздействия различных температур для создания технических средств защиты информации от утечки по оптическому и электромагнитному каналам.

Для достижения данной цели следует решить следующие задачи:

1. Провести обоснование способа стабилизации экранирующих характеристик влагосодержащих материалов (пористая основа, связующее, состав раствора) для повышения эффективности экранов ЭМИ в условиях воздействия повышенных и пониженных температур.

2. Разработать способ модификации пористых основ для получения влагосодержащих материалов с высокой стабильностью экранирующих характеристик в широком диапазоне температур, а также исследовать влияние состава растворного наполнителя на характеристики ослабления и отражения электромагнитных волн влагосодержащими композиционными экранирующими материалами.

3. Исследовать влияние структуры и электрофизических свойств порошковых и волокнистых основ, используемых в качестве физических сорбентов, на их влагосодержание и экранирующие характеристики в СВЧ и оптическом диапазонах длин волн. А также обосновать выбор оптимального состава композита и концентрации компонентов с учетом их совместимости для повышения эффективности экранирующих характеристик и расширения возможных условий эксплуатации экранов электромагнитного излучения.

4. Разработать конструкции экранов электромагнитного излучения, радиопоглощающие материалы и покрытия на основе волокнистых и порошковых влагосодержащих материалов с возможностью снижения веса конструкции на основе влагосодержащих экранирующих материалов, обладающих высокой стабильностью экранирующих характеристик в широком диапазоне температур.

5. Разработать технологические маршруты формирования элементов экранов и покрытий для защиты информации от утечки по оптическому и электромагнитному каналам.

6. Разработать рекомендации по использованию предложенных конструкций экранов и покрытий в качестве средств снижения заметности информационных объектов при радиоэлектронной разведке в различных температурных условиях эксплуатации.

### **Научная новизна**

1. Установленные зависимости стабильности характеристик экранов электромагнитного излучения на основе влагосодержащих композиционных материалов при их эксплуатации в диапазоне температур 253...393 К от состава и концентрации компонентов, что позволило обосновать комбинирование гидрофильного наполнителя и гидрофобного связующего и определить их оптимальное соотношение 50 %, об. для стабилизации значений ослабления (10...20 дБ) и коэффициента отражения (-7...-9 дБ) в пределах  $\pm 10$  % в диапазоне частот 8...12 ГГц.

2. Совокупность экспериментальных данных, доказывающих одновременное снижение коэффициента отражения электромагнитного излучения и массы экранов на основе влагосодержащих материалов за счет использования измельченной древесины в качестве пористой основы, что позволило сформировать композиционный материал с низкой насыпной плотностью влагосодержащего наполнителя (до 580 кг/м<sup>3</sup>), характеризующийся значениями коэффициента отражения до -30 дБ в частотном диапазоне 0,7...17 ГГц для экрана толщиной 7 мм с удельной массой 1,25 кг/м<sup>2</sup> и предложить данный материал для создания средств снижения радиолокационной заметности наземных военных объектов.

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

1. Экспериментальное обоснование экрана электромагнитного излучения на основе влагосодержащей измельченной древесины в эпоксидном связующем в концентрации 50 %, об., характеризующегося коэффициентом отражения -3...-16 дБ (до -30 дБ с использованием пирамидальной подложки) в частотном диапазоне 5...18 ГГц, стабильным при эксплуатации в температурном диапазоне 253...353 К, и сниженной удельной массой экрана до 1,25 кг/м<sup>2</sup> при толщине 7 мм с общим уровнем ослабления электромагнитного излучения 10...40 дБ, что позволяет предложить такой материал для создания средств, снижающих радиолокационную заметность военной техники.

2. Введение пористого материала (силикагель, измельченная древесина), пропитанного гидрофильным водным раствором CaCl<sub>2</sub>, в гидрофобное связующее (силикон) в концентрации от 10 до 50 %, об. приводит к расширению

температурного диапазона эксплуатации полученной гибкой конструкции экрана электромагнитного излучения до 253...393 К и стабилизации ее характеристик ослабления (10...20 дБ) и коэффициента отражения (-7...-9 дБ) в пределах  $\pm 10\%$  с возможностью самовосстановления экранирующих характеристик после воздействия повышенных температур до 453 К, что позволяет предложить использование таких экранов для снижения заметности военной техники в диапазоне частот 8...12 ГГц.

3. Введение измельченной древесины (со средним размером фракций 10...20 мм) и силикагеля (с размером фракций порядка 10 мкм), пропитанных водным раствором  $\text{CaCl}_2$  в равновесной концентрации, в гидрофобное связующее (силикон) в концентрации от 10 до 50 %, об. приводит к формированию композиционных материалов, обладающих значениями спектрального коэффициента яркости 0,15...0,55 отн. ед. для образцов на основе измельченной древесины, и 0,2...0,45 отн. ед. для образцов на основе порошкового силикагеля в диапазоне длин волн 400...1000 нм, независимо от угла падения оптического излучения, близкими к характеристикам желтой осенней растительности и песков, что позволяет рекомендовать их для создания средств снижения заметности военной техники на фоне растительности и песков в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах длин волн.

### **Личный вклад соискателя ученой степени**

Все основные результаты, изложенные в диссертационной работе, получены соискателем лично. В совместно опубликованных работах автору принадлежат определение целей, постановка задач исследования, выбор методов исследования и непосредственное участие в проведении экспериментов, а также обработка, анализ и интерпретация полученных результатов.

Определение целей и задач исследований, интерпретация и обобщение полученных результатов проводились с научным руководителем, кандидатом технических наук Н.В. Насоновой, которая принимала участие в планировании работ и обсуждении результатов. Основными соавторами опубликованных работ являются доктор технических наук, профессор Л.М. Лыньков и кандидат технических наук Т.А. Пулко, совместно с которыми разрабатывались конструкции экранов ЭМИ.

### **Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов**

Основные положения и результаты диссертации докладывались и обсуждались на X Международной научно-технической конференции

«Управление информационными ресурсами» (Минск, 2013), XXX General Assembly and Scientific Symposium of the International Union of Radio Science (Стамбул, 2011), организованной при поддержке электронной библиотеки IEEE, 21-й, 23-й и 24-й Международных конференциях «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (Севастополь, 2011, 2013 и 2014), организованных при поддержке электронной библиотеки IEEE, Международной научно-практической конференции «Теоретические и прикладные проблемы информационной безопасности», (Минск, 2012), XVI, XVII, XX Международных научно-технических конференциях «Современные средства связи» (Минск, 2011, 2012, 2015), VIII, IX, XI Белорусско-российских научно-технических конференциях «Технические средства защиты информации» (Минск, 2010, 2011, 2013), VIII Международной научно-технической конференции «Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии» (Минск, 2014), Международном научно-техническом семинаре «Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных» (Браслав, 2010), XVI Международной научно-технической конференции «Информационные системы и технологии ИСТ-2010» (Нижний Новгород, 2010).

### **Опубликование результатов диссертации**

По результатам исследований, представленных в диссертации, опубликовано 22 работы, в том числе 7 статей в научных журналах, 11 статей в сборниках материалов конференций, 4 тезиса докладов.

Общий объем публикаций по теме диссертации, соответствующих пункту 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, составляет 5,2 авторского листа.

### **Структура и объем диссертации**

Общий объем диссертационной работы составляет 182 страницы, из них 130 страниц основного текста, 72 рисунка на 64 страницах, 17 таблиц на 24 страницах, библиографический список из 152 источников, включая 22 собственные публикации автора, на 15 страницах, 1 приложение на 3 страницах.

## **ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**

Во **введении** приведено обоснование необходимости основных направлений исследований, показана необходимость проведения исследований, связанных с использованием влагосодержащих композиционных материалов для экранирования электромагнитных излучений, обоснована актуальность

исследований с учетом температурного диапазона эксплуатации современных экранов ЭМИ и радиопоглотителей, применяемых для технических средств защиты информации от средств радиоэлектронной разведки.

В **первой главе** приведены результаты анализа технической и патентной информации, где показано, что электромагнитные излучения технических средств обработки информации создают большие возможности ее утечки и получения через анализ демаскирующих признаков, что обуславливает необходимость применения пассивных технических средств защиты информации. Композиционные материалы с определенными электромагнитными характеристиками, обусловленными магнитными, диэлектрическими потерями и потерями на проводимость, позволяют создавать эффективные экраны ЭМИ для предотвращения подобного рода утечки информации.

Функционирование большинства технических объектов, защищаемых от радиолокационного обнаружения, сопровождается выделением тепловой энергии, температурный диапазон которой может достигать 323...423 К (50...150 °С), что также позволяет обнаружить объект с помощью оптических приборов, детектирующих тепловое излучение в инфракрасном диапазоне длин волн и может снижать эффективность применяемых защитных технических средств.

Климатические условия эксплуатации могут потребовать использование материалов, способных выдерживать воздействие температур порядка 253 К (-20 °С).

Влагосодержащие материалы позволяют достигать высоких значений эффективности экранирования в СВЧ-диапазоне, однако любое колебание условий внешней среды может являться дестабилизирующим фактором, приводящим к потере композиционным материалом экранирующих свойств. Следовательно, актуальной задачей является расширение температурного диапазона эксплуатации влагосодержащих экранирующих материалов при сохранении высокой эффективности защиты от утечки информации по электромагнитному и оптическому каналам.

Во **второй главе** предложен способ стабилизации экранирующих характеристик влагосодержащих композиционных материалов, заключающийся в выборе порошкового или волокнистого физического сорбента, обладающего высокой гигроскопичностью, модификации его поверхности, применении химических сорбентов и использовании термостойких связующих. Обоснован выбор порошкового силикагеля с развитой пористой поверхностью и измельченной древесины хвойных пород с волокнистой структурой в качестве влагосодержащих основ композиционных материалов. Рассмотрены основные механизмы взаимодействия различных пористых порошковых и волокнистых материалов с жидкими средами, а также механизмы модификации их физико-химических свойств [1, 8, 14, 16, 21].



Стабильность влагосодержания предлагается установить с помощью гидрофильных солей металлов  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{ZnCl}_2$  за счет поддержания сорбционной влажности раствора при взаимодействии ионов гидрофильных солей с молекулами воды в окружающем пространстве, сопровождающимся образованием кристаллогидратов. А также посредством модификации гранул силикагеля ацетоном, что позволяет активировать поверхность материала и повышает его сорбционные свойства.

В качестве связующего компонента для изготовления элементов конструкций экранов, а также для нанесения экранирующих ЭМИ покрытий предложено использовать цемент, гипс, эпоксидный и силикатный (жидкое стекло) клеи, а также кремнийорганические связующие, обладающие устойчивостью к определенным внешним воздействиям (температура, влажность, химические наполнители).

Представлены методики измерений электромагнитных характеристик образцов с использованием волноводных трактов, измерителя КСВН и ослабления, а также скалярного анализатора цепей. Расчетные формулы измерительного процесса приведены ниже:

$$S_{21} = 20 \cdot \lg \sqrt{\frac{U_{np}}{U_{nad}}}, \quad (1)$$

где  $S_{21}$  – коэффициент передачи, равный по модулю величине ослабления ЭМИ, дБ;

$U_{np}$  – амплитудное значение напряжения прошедшего ЭМИ через образец, В;

$U_{nad}$  – амплитудное значение напряжения падающей электромагнитной волны (ЭМВ), В.

$$S_{11} = 20 \cdot \lg \sqrt{\frac{U_{omp}}{U_{nad}}}, \quad (2)$$

где  $S_{11}$  – коэффициент отражения ЭМВ от образца, дБ;

$U_{omp}$  – амплитудное значение напряжения отраженной ЭМВ, В.

Приведена методика расчета влагосодержания различных материалов при объемном и массовом соотношениях компонентов. Влажность  $W$  определялась в процентах по формулам:

$$W_m = ((m - m_m) / m_1) \cdot 100 \%, \quad (3)$$

$$W_{об} = ((m - m_m) / V) \cdot 100 \%, \quad (4)$$

где  $m$  – масса материала в насыщенном водой состоянии, г;

$m_m$  – масса материала в сухом состоянии, г;

$m_1$  – масса материала, высушенного до постоянной массы, г;

$V$  – объем материала в сухом состоянии, см<sup>3</sup>.

Измерения температурной зависимости экранирующих характеристик исследуемых образцов основано на контролируемом изменении температуры с использованием тепловизионной техники.

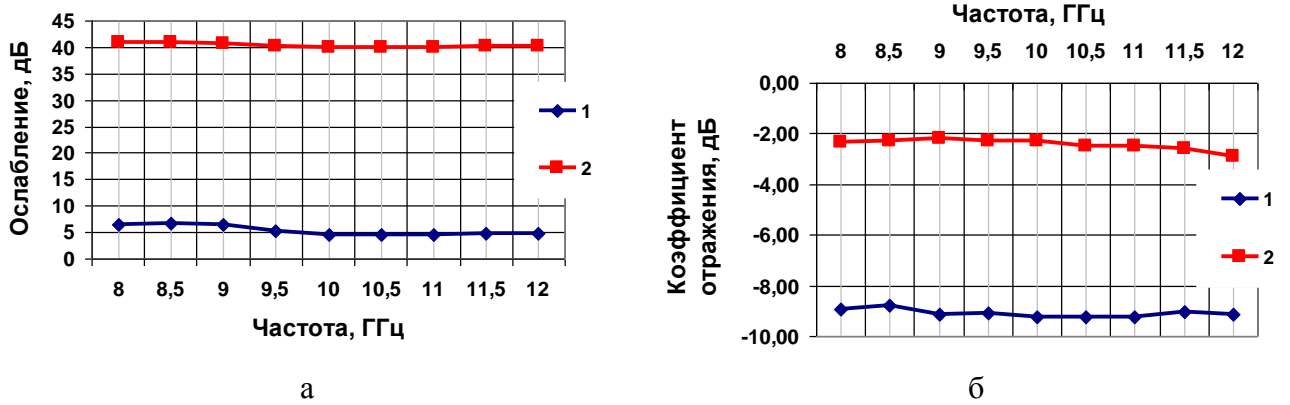
Температурная обработка образцов осуществлялась с помощью лабораторных нагревательных приборов: сушильного шкафа ШСУ 150 °С и муфельной лабораторной печи СНОЛ 20/1300 для тепловой обработки до 423 К и до 453 К соответственно. Для исследования воздействия пониженных температур использовалась холодильная камера с хладагентом до температуры 0...–24 °С посредством прибора охлаждения с применением трубчатого охлаждения.

Для исследования спектрально-поляризационных характеристик влагосодержащих капиллярно-пористых материалов в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах длин волн использовались гониометрическая установка и спектро радиометр ПСР-02.

В **третьей главе** представлены результаты измерения экранирующих характеристик различных порошковых и волокнистых сред остаточной влажности. Исследовано влияние наличия водных включений в составе композиционных материалов на основе вышеуказанных сред. Приведены оптические фотографии микроструктуры исследуемых сред с различным влагосодержанием. Показано, что с увеличением влагосодержания увеличивается общая эффективность экранирования ЭМИ в диапазоне 8...12 ГГц примерно в три раза на каждый процент сорбированной жидкости до предельного наполнения пор или волокон, что обусловлено ростом диэлектрических потерь и проводимости композиционного материала. Ослабление ЭМИ при увеличении влагосодержания материала может увеличиваться в 5...10 раз (рисунок 1) [9, 11, 18].

Воздействие температуры выше или ниже точек фазового перехода приводит к снижению эффективности экранирования в СВЧ-диапазоне.

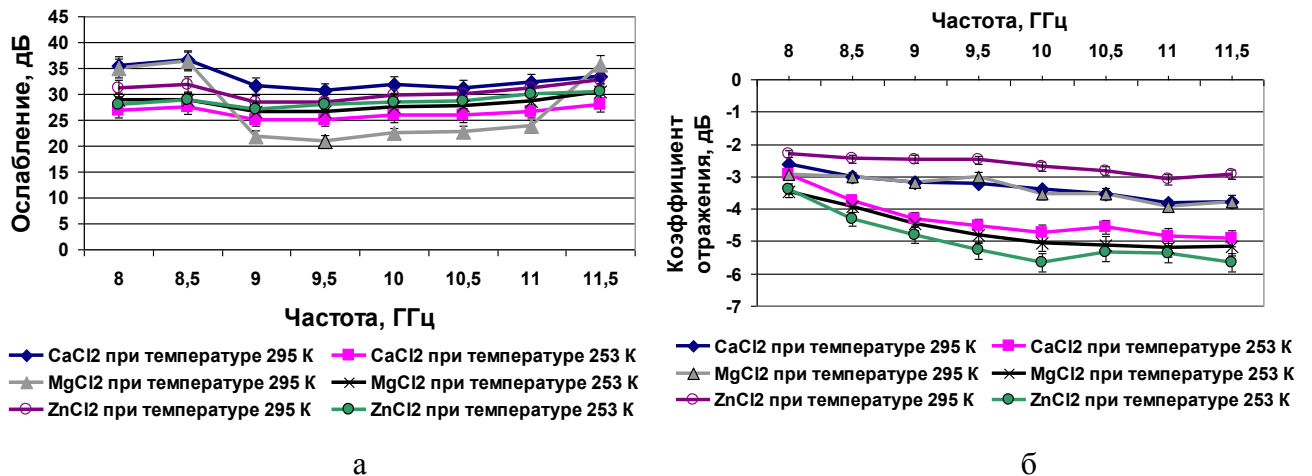
Синтез водных растворов гидрофильных солей металлов приводит к изменению точек фазового перехода воды в кристаллообразное и парообразное состояние вследствие понижения давления пара над раствором и расширению температурного диапазона эксплуатации экранирующих влагосодержащих материалов, так как, согласно второму закону Рауля температура кипения раствора всегда выше, а температура его замерзания всегда ниже, чем у чистого растворителя.



1 – измельченная древесина остаточной влажности;  
 2 – измельченная древесина с водным наполнителем в объеме 50 %;  
 а – ослабление ЭМИ; б – коэффициент отражения ЭМИ

Рисунок 1. – Частотная зависимость ослабления и коэффициента отражения в диапазоне 8...12 ГГц образцов на основе измельченной древесины

Исследования температурной стабильности композитов на основе влагосодержащего силикагеля в диапазоне 253...295 К показали [3, 12], что за счет использования растворных наполнителей в виде солей щелочноземельных металлов на примере  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$  и  $\text{ZnCl}_2$  влагосодержание материала можно стабилизировать в пределах  $\pm 3\%$ , а экранирующие характеристики стабилизируются в пределах  $\pm 10\%$  в диапазоне частот 8...11,5 ГГц (рисунок 2).

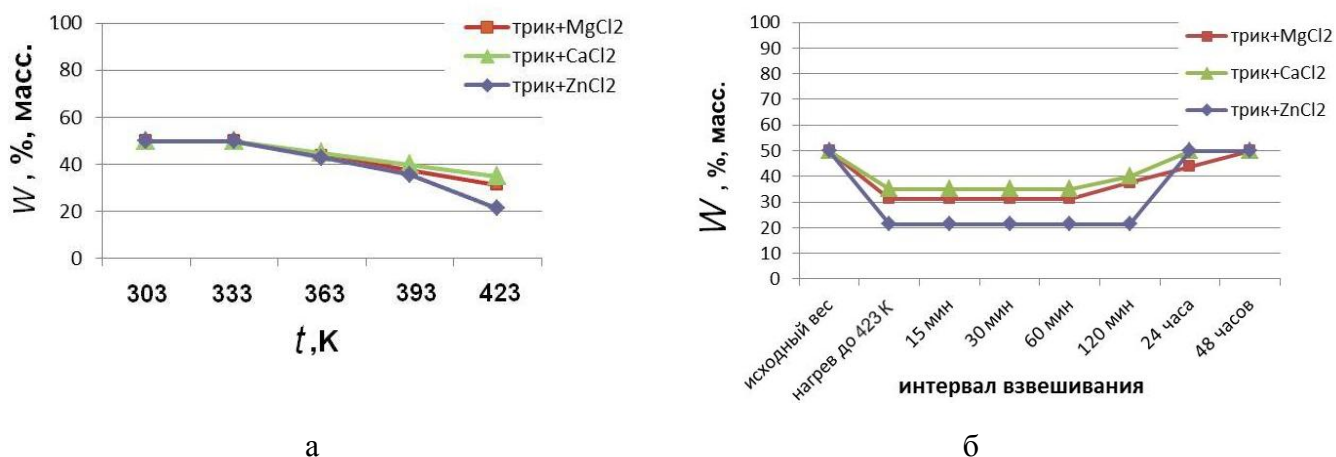


а – ослабление ЭМИ; б – коэффициента отражения ЭМИ

Рисунок 2. – Экранирующие характеристики в диапазоне 8...11,5 ГГц влагосодержащих образцов на основе порошкового силикагеля с пропиткой водносолевыми растворами при температуре 295 К и 253 К

Исследования температурной стабильности предложенных композиционных влагосодержащих материалов в диапазоне 303...393 К показали,

что за счет использования растворных наполнителей в виде солей щелочноземельных металлов на примере  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$  и  $\text{ZnCl}_2$  можно получить самовосстанавливающуюся систему, обеспечивающую 100 %-ное восстановление исходного влагосодержания и экранирующих свойств в течение 24 ч в естественных условиях после прекращения теплового воздействия (рисунок 3).



**а** – в процессе нагрева с интервалом взвешивания 303 К; **б** – в процессе остывания до комнатной температуры

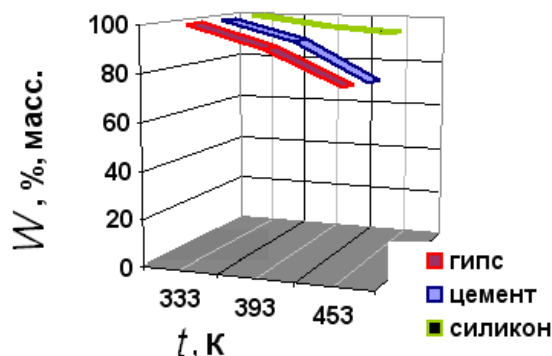
**Рисунок 3. – Динамика влагосодержания образцов на основе волокнистого тканого материала с пропиткой водными растворами гидрофильных солей в диапазоне температур  $t = 303...423$  К**

Применение вышеуказанных наполнителей позволяет сдвинуть точку кипения раствора в зависимости от концентрации соли в область повышенных температур. При равновесной концентрации соли хлорида кальция в растворном наполнителе существенное снижение влагосодержания наблюдается лишь при нагревании образцов свыше 393 К [7, 13, 17].

Модификация гранул силикагеля ацетоном с последующей сушкой при температуре 393 К в течение 30 мин и дальнейшей пропиткой высушенных образцов водой позволяет стабилизировать характеристики в пределах  $\pm 10\%$  в течение 10 суток за счет активации поверхности гранул. Наличие свободной воды вблизи поверхности гранул способствует более длительному процессу десорбции.

Установлено, что порошок с частицами меньшего размера обладает большей сорбционной способностью за счет более развитой поверхности открытых пор, способной к взаимодействию с молекулами воды. Добавление в диэлектрический порошок силикагеля магнитного порошка NiZn-феррита в соотношении 70:30 по объему приводит к увеличению ослабления ЭМИ в диапазоне 8...11,5 ГГц на 15 дБ и увеличению коэффициента отражения на 2 дБ. Значение ослабления может достигать 20 дБ при влагосодержании образцов  $W$  не

более 30 %, масс; а значение коэффициента отражения увеличиваться до  $-5$  дБ в частотном диапазоне 8...11,5 ГГц [6, 10, 19, 20].



**Рисунок 4. – Динамика влагосодержания образцов на основе влагосодержащего силикагеля в диапазоне температур  $t = 303...453$  К в процессе нагрева**

Исследованы механические и адгезионные характеристики различных видов связующих в интервале температур 253...393 К. Установлено, что наибольшей стабильностью влагосодержания при повышенных температурах, наилучшей прочностью и адгезией к частицам порошковых и волокнистых наполнителей в объеме, превышающем 10 %, пропитанным водными растворами солей металлов, обладает силиконовый каучук (рисунок 4). При нагреве таких образцов до 393 К наблюдается снижение влагосодержания не более чем на 5 %.

Исследование спектрально-поляризационных свойств влагосодержащих материалов на основе измельченной древесины и силикагеля в различных связующих до и после термической обработки образцов показало возможность оптической маскировки на фоне желтой листвы, песка или некоторых горных пород с применением данных композитов и их способность восстанавливать спектрально-поляризационные свойства после воздействия повышенных температур до 453 К [15].

Установлено, что образцы на основе измельченной древесины обладают высоким сходством коэффициента спектральной яркости (КСЯ) с природными фонами, такими как желтые листья березы, песок сухой желто-бурого цвета. А образцы на основе порошкообразного силикагеля коррелируют с такими природными фонами, как известняк, мрамор, песок беловатый засоленный, морские ракушечные переветренные пески, серовато-желтый песок, альбит и кварц.

В четвертой главе обоснован выбор связующих для изготовления материалов, конструкций экранов ЭМИ и экранирующих покрытий с учетом адгезии и устойчивости к воздействию повышенных температур. Выбрано несколько типов связующих для формирования покрытий и конструкций экранов ЭМИ, среди которых можно выделить силиконовый и акриловый эластомеры, эпоксидный клей, цемент, гипс и жидкое стекло из-за их адгезионных, термостойких и экранирующих свойств [2, 22].

Для применения предлагаемого метода стабилизации характеристик разработаны рекомендации по применению различных типов связующих для различных влагосодержащих композиционных материалов с учетом совместимости компонентов, их механических характеристик. Показано, что на

основе водосодержащего силикагеля могут быть получены композиционные материалы толщиной порядка 2 мм, обеспечивающие ослабление ЭМИ не менее 40 дБ, для любого типа связующего. Для изготовления композиционных материалов на основе измельченной древесины хвойных пород с ослаблением не ниже 20 дБ пригоден любой тип связующего. Растворный наполнитель накладывает ограничение на выбор связующего.

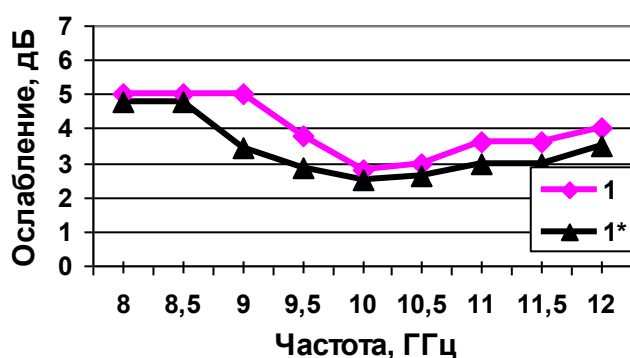
На основе разработанных композиционных влагосодержащих материалов, варьируя тип связующего и влагосодержание, изготовлены жесткие и гибкие конструкции экранов ЭМИ стационарного и мобильного типа с эффективностью экранирования до 40 дБ в частотном диапазоне 0,7...17 ГГц.



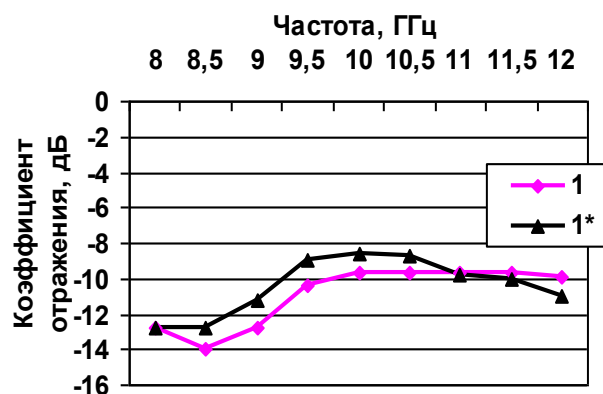
**Рисунок 5. – Внешний вид исследуемого образца поглотителя ЭМИ с геометрическими неоднородностями поверхности**

Установлено, что нанесение разработанных экранирующих покрытий на подложку с геометрическими неоднородностями (рисунок 5) позволяет снизить коэффициент отражения ЭМИ до  $-15...-20$  дБ [4].

Разработаны экранирующие материалы, конструкции экранов и покрытия на основе порошкового силикагеля в различных связующих, обеспечивающие ослабление ЭМИ более 30...40 дБ в частотном диапазоне 8...12 ГГц при толщине композита порядка 2 мм, что позволяет формировать экранирующие материалы, покрытия и конструкции на их основе (рисунок 6), устойчивые к воздействию температур в пределах 253...393К [7].



а



б

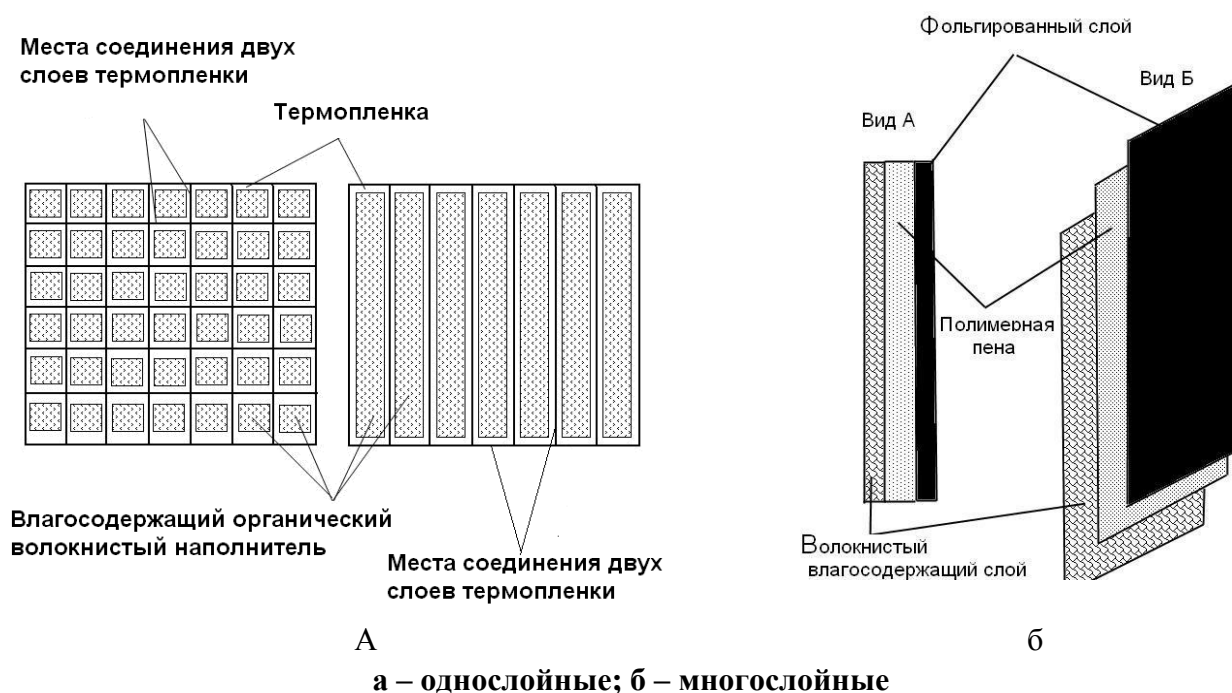
**а) ослабление ЭМИ; б) коэффициент отражения ЭМИ**

**Рисунок 6. – Экранирующие характеристики в диапазоне 8...12 ГГц влагосодержащих образцов на основе порошкового силикагеля до (1) и после (1\*) нагрева до температуры 453 К**



Установлено, что наибольшей стабильностью эксплуатационных и экранирующих характеристик в диапазоне температур от 253 К до 393 К обладает кремнийорганическое связующее (однокомпонентный силикон) при распределении влагосодержащего наполнителя в количестве 50 %, масс., что позволяет формировать композиционную структуру, обладающую достаточной паропроницаемостью для самовосстановления экранирующих свойств за счет взаимодействия с окружающим воздухом [17]. Восстановление исходного равновесного влагосодержания после нагрева до 453 К происходит в течение 15–20 мин при помещении композита в естественных условиях (см. рисунок 6).

Разработаны экранирующие материалы, конструкции экранов и покрытия на основе измельченной древесины в связующих различных типов, обеспечивающие ослабление ЭМИ до 40 дБ с коэффициентом отражения  $-10...-12$  дБ в диапазоне частот 8...12 ГГц при толщине порядка 7 мм, что позволяет уменьшить вес конструкции по сравнению с аналогами в 2–4 раза за счет низкой плотности волокнистой основы, что может быть использовано для создания многослойных конструкций экранов и поглотителей ЭМИ в СВЧ-диапазоне. Полиэтиленовые модульные формы с локальными ячейками, заполненными измельченной древесиной (рисунок 7, а), пропитанной водным раствором  $\text{CaCl}_2$ , позволяет получить ослабление ЭМИ такими экранами 45 дБ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц при минимальном коэффициенте отражения  $-30$  дБ и использовать такие композиты в качестве радиопоглотителей [5].



**Рисунок 7. – Схематическое изображение элементов конструкций экранов электромагнитного излучения на основе волокнистых влагосодержащих материалов**

Представлен технологический маршрут создания стабильных в широком температурном диапазоне экранов ЭМИ, который включает выбор и подготовку компонентов композита в нужных пропорциях, пропитку порошковой или волокнистой основы раствором наполнителем, смешивание со связующим и формирование готовой конструкции экрана или нанесение экранирующего покрытия на предварительно подготовленную подложку для защиты объектов военной техники от средств радиоэлектронной разведки и снижения заметности в оптическом и СВЧ-диапазонах при длительном воздействии температур в диапазоне 253...393 К, а также кратковременном воздействии температур до 453 К.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

### **Основные научные результаты диссертации**

1. В качестве основных влагоудерживающих материалов для изготовления экранов ЭМИ предложено использовать порошковый силикагель, обладающий развитой пористой поверхностью, а также измельченную древесину хвойных пород как волокнистый материал, обладающий низкой насыпной плотностью (до 580 кг/м<sup>3</sup>) и высокой сорбционной способностью. Установлено, что с увеличением влагосодержания композиционного материала увеличивается общая эффективность экранирования ЭМИ в диапазоне 8...12 ГГц в 5...10 раз, что обусловлено ростом диэлектрических потерь и проводимости композита. Установлено, что значения экранирующих характеристик в значительной степени зависят от размера, диэлектрических и магнитных свойств частиц поглотителя ЭМИ. Показано, что порошок с частицами меньшего размера обладает большей сорбционной способностью за счет более развитой поверхности открытых пор, способной к взаимодействию с молекулами воды [1, 4, 5, 6, 10, 19, 20].

2. Предложен способ создания экранов ЭМИ на основе влагосодержащего порошкового силикагеля и измельченной древесины со стабильными экранирующими характеристиками в пределах  $\pm 5\%$  в температурном диапазоне от 253 К до 393 К по времени не менее четырех лет за счет добавления в водный наполнитель гигроскопичных солей металлов и распределении влагосодержащей основы в гидрофобном термостойком связующем в равновесной концентрации. Также предложен способ модификации порошковых гранул для создания экранов ЭМИ со стабильными экранирующими характеристиками в пределах  $\pm 10\%$  за счет активации поверхности наполнителя композиционного материала экрана и повышения его сорбционных свойств, что позволяет увеличить срок эксплуатации таких экранов в 10 раз по сравнению с влагосодержащими аналогами [3, 12, 14].



3. Обоснован выбор связующих с возможностью стабилизации экранирующих характеристик материалов на основе влагосодержащего порошкового силикагеля или измельченной древесины в диапазоне температур от 253 К до 423 К путем добавления в водный наполнитель гигроскопичных солей металлов и распределения влагосодержащей основы в гидрофобном термостойком связующем (силиконе) в равновесной концентрации с возможностью восстановления температуры образца, равной температуре окружающей среды, а также восстановления исходного равновесного влагосодержания после нагрева до 453 К в течение 15–20 мин при помещении композита в естественные климатические условия.

Для влагосодержащих термостойких материалов возможно применение в качестве связующего жидкого стекла при использовании порошковых наполнителей, пропитанных чистым растворителем – водой.

Предложено использовать эпоксидный клей для создания малоотражающих экранирующих покрытий и конструкций с использованием влагосодержащих волокнистых материалов на основе измельченной древесины для эксплуатации при температурах не более 353 К с коэффициентом отражения не более –10...–12 дБ в частотном диапазоне 8...12 ГГц при общем уровне ослабления ЭМИ более 40 дБ [5, 7, 9, 11, 12, 13, 17, 21, 22].

4. Разработаны экраны ЭМИ на основе влагосодержащих силикагеля и измельченной древесины, стабильные в широком температурном диапазоне эксплуатации жесткого и гибкого типа с эффективностью экранирования до 30 дБ в частотном диапазоне 2...18 ГГц, с применением различных связующих в оптимальной концентрации с учетом совместимости компонентов. Установлено, что нанесение разработанных экранирующих покрытий на подложку с геометрическими неоднородностями позволяет снизить коэффициент отражения ЭМИ до –13...–16 дБ по сравнению с аналогичным композиционным материалом с плоской поверхностью [2, 4, 7].

5. Предложено использовать влагосодержащие волокнистые и порошковые материалы на основе измельченной древесины (со средним размером фракций 10...20 мм) и силикагеля (с размером фракций порядка 10 мкм) в гидрофобном связующем (силикон) в концентрации от 10 до 50%, об. в качестве защитных экранов и покрытий, обладающих значениями спектрального коэффициента яркости 0,15...0,55 отн. ед. для образцов на основе измельченной древесины, и 0,2...0,45 отн. ед. для образцов на основе порошкового силикагеля в диапазоне длин волн 400...1000 нм, независимо от угла падения оптического излучения, для снижения заметности наземных объектов на фоне желтой листвы берёзы, песка желто-бурого цвета, известняка, мрамора, песка беловатого засоленного, морских ракушечных переветренных песков, серовато-желтого песка или некоторых горных

пород в зависимости от концентрации связующего в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах длин волн [5, 11, 15, 18].

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

1. Определены критерии использования различных связующих и оптимальный состав компонентов для создания материала экрана ЭМИ со стабильными характеристиками в широком температурном диапазоне. Предложено использовать термоустойчивые полимеры (однокомпонентный силикон) при распределении влагосодержащего растворного наполнителя в количестве 50 %, об., что позволяет формировать экранирующую конструкцию, обладающую достаточной паропроницаемостью для самовосстановления экранирующих свойств за счет взаимодействия с окружающим воздухом и получения высокой стабильности эксплуатационных и экранирующих характеристик длительный период времени. Предложено использовать цементное и гипсовое вяжущее для создания экранирующих материалов с химически повышенным влагосодержанием при условиях дополнительной герметизации. А также использовать акриловый эластомер и жидкое стекло для формирования композиционных материалов с водными наполнителем [4, 7, 8, 9, 17, 22].

2. Разработаны экранирующие материалы и конструкций экранов ЭМИ и покрытия на основе влагосодержащего порошкового силикагеля в связующих различных типов в равновесной концентрации, обеспечивающие ослабление ЭМИ более 30...40 дБ с коэффициентом отражения  $-7...-10$  дБ в диапазоне частот 5...18 ГГц (с возможностью снижения до  $-10...-13$  дБ в частотном диапазоне 8...12 ГГц) при толщине композиционного материала порядка 2 мм, которые могут использоваться для экранирования и защиты от обнаружения объектов техники средствами радиоэлектронной разведки [1, 2, 4, 7, 16].

3. Предложены конструкции экранов ЭМИ модульного типа на основе влагосодержащей измельченной древесины с величиной ослабления ЭМИ до 45 дБ при минимальном коэффициенте отражения в размере  $-30$  дБ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц. А также экранирующие ЭМИ конструкции и покрытия на основе измельченной древесины в эпоксидном связующем в концентрации 50 % об., обеспечивающие ослабление ЭМИ до 40 дБ с коэффициентом отражения  $-10...-16$  дБ в диапазоне частот 8...12 ГГц, обладающие меньшим удельным весом конструкции (до  $1,25$  кг/м<sup>2</sup>) при толщине порядка 7 мм по сравнению с другими известными влагосодержащими экранирующими материалами в 2–4 раза за счет низкой плотности волокнистой основы, что позволяет предложить их использование для снижения радиолокационной заметности военной техники при эксплуатации в температурном диапазоне 253 К...353 К [5, 11, 15, 18].

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

### Статьи в рецензируемых научных журналах

1. Защитные свойства экранов электромагнитного излучения СВЧ-диапазона на основе комбинированных, диэлектрических и магнитных порошковых компонентов / Г.А. Пухир, М.Ш. Махмуд, Н.В. Насонова, Л.М. Лыньков // Доклады БГУИР. – 2011. – № 6 (60). – С. 94–97.

2. Пухир, Г.А. Гибкие поглотители электромагнитных излучений на основе эластичного полимера с добавлением сорбирующих порошков / Г.А. Пухир, М.Ш. Махмуд, Л.М. Лыньков // Доклады БГУИР. – 2011. – № 8 (62). – С. 99–102.

3. Влияние температуры на характеристики ослабления и отражения электромагнитного излучения гибких водосодержащих экранов / И.А. Грабарь, Али Абдалла Мухамед Альхамруни, Н.В. Насонова, А.А. Позняк, Г.А. Пухир // Доклады БГУИР. – 2013. – № 7 (77). – С. 96–101.

4. Shielding Properties of Electromagnetic Radiation Absorbers with Geometrical and Structure Heterogeneities / L.M. Lyn'kov, N.V. Nasonova, M.Sh. Mahmood, H.A. Pukhir, O.V. Voiprav // Eng. & Tech. Journal. – 2014. – Vol. 32, Part (A), № 12, P. 2891–2903.

5. Радиопоглощающие конструкции на основе композиционных влагосодержащих волокнистых материалов растительного происхождения / Г.А. Пухир, М.А. Вилькоцкий, А.С. Абдулссалам Абукраа, Н.В. Насонова // Доклады БГУИР. – 2015. – № 1 (87). – С. 34–40.

6. Структура и свойства радиопоглощающих материалов из наноструктурированных порошков магнитомягких ферритов / А.Ф. Ильющенко, С.Г. Барай, М.О. Степкин, Н.В. Насонова, Г.А. Пухир // Порошковая металлургия. – 2012. – Вып. 35. – С. 24–31.

7. Пухир, Г.А. Стабильность экранирующих характеристик влагосодержащих материалов при фазовом переходе воды / Г.А. Пухир, Н.В. Насонова, Л.М. Лыньков // Труды МАИ: электронный журнал. – 2014. – № 67. – С. 1–15.

### Статьи в сборниках материалов научных конференций

8. Пухир, Г.А. Применение технологии создания метаматериалов для формирования поглотителей ЭМИ и защиты информации в телекоммуникационных системах / Г.А. Пухир, В.И. Пачинин // Информационные системы и технологии ИСТ-2010: материалы XVI Междунар. науч.-техн. конф., Нижний Новгород, 23 апреля 2010 г. / Нижний Новгород, 2010. – С. 57.

9. Пухир, Г.А. Композиционные материалы с диэлектрическими включениями для экранов электромагнитного излучения и условия повышения их

эффективности / Г.А. Пухир, Т.А. Пулко // Современные средства связи: материалы XVI Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 27–29 сентября 2011 г. / УО ВГКС; редкол.: А.О. Зеневич [и др.]. / Минск, 2011. – С. 101.

10. Pukhir, H.A. Researching of ferromagnetic inclusions influence on protecting properties of shielding composite materials with dielectric and magnetic structure elements / H.A. Pukhir, N.V. Nasonova // Prossiding of XXXth General Assembly of the International Union of Radio Science, Istanbul, Turkey, 13–20 August 2011 (CD-R, IEEE Xplore Digital library).

11. Пухир, Г.А. Использование органических влагоудерживающих компонентов в качестве основы экранирующих конструкций СВЧ-диапазона / Г.А. Пухир, Н.В. Насонова, Т.А. Пулко // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии (КрыМиКо'2013): материалы 23-й Междунар. крымской конф., Севастополь, 9–13 сентября 2013 г. / редкол.: М.П. Батура [и др.]. – Севастополь, 2013. – С. 718–719.

12. Пухир, Г.А. Влияние отрицательных температур на экранирующие свойства влагосодержащих материалов на основе диоксида кремния / Г.А. Пухир // Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных: материалы междунар. науч.-техн. семинара, Браслав, 20–24 сентября 2010 г. / БГУИР. – Минск, 2010. – С. 15–17.

13. Пухир, Г.А. Исследование динамики влагосодержания композиционных материалов с различными растворными наполнителями в широком температурном диапазоне / Г.А. Пухир, Н.В. Насонова // Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии: сб. науч. ст. VIII Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 10–11 декабря 2014 г. / БГУИР. – Минск, 2014. – С.413–414.

14. Пухир, Г.А. Особенности создания экранов электромагнитных излучений на основе композитов с химически модифицированными сорбентами / Г.А. Пухир, Н.В. Насонова // Управление информационными ресурсами: материалы X Междунар. науч.-практ. конф., Минск / Акад. упр. при Президенте Республики Беларусь; редкол.: А.В. Ивановский [и др.]. – Минск, 2013. – С. 153–154.

15. Пухир, Г.А. Исследование оптических свойств экранов электромагнитного излучения на основе волокнистых материалов природного происхождения / Г.А. Пухир // Современные средства связи: материалы XX Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 14–15 октября 2015 г. / УО ВГКС. – Минск, 2015. – С. 220–222.

16. Пухир, Г.А. Исследование экранирующих характеристик композитов на основе различных сорбирующих компонентов / Г.А. Пухир, Н.В. Насонова, М.Ш. Махмуд, Л.М. Лыньков // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии (КрыМиКо'2011): материалы 21-й Междунар. Крымской конф.,

Севастополь, 12–16 сентября 2011 г. / редкол.: М.П. Батура [и др.]. – Севастополь, 2011. – С. 717–718.

17. Пухир, Г.А. Тепловые эффекты в кремнийсодержащих композитах и их влияние на экранирующие характеристики образцов экранов электромагнитного излучения / Г.А. Пухир // Современные средства связи: материалы XVII Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 16–18 октября 2012 г. / УО ВГКС; редкол.: А.О. Зеневич [и др.]. – Минск, 2012. – С. 231–232.

18. Пухир, Г.А. Экранирующие характеристики волокнистых органических влагосодержащих материалов в условиях воздействия повышенных температур / Г.А. Пухир, Н.В. Насонова, П.И. Походня // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии (КрыМиКо'2014): материалы 24-й Междунар. Крымской конф., Севастополь, 7–13 сентября 2014 г. / редкол.: М.П. Батура [и др.]. – Севастополь, 2014. – С. 718–719.

### Тезисы докладов

19. Пухир, Г.А. Особенности формирования защитных конструкций и покрытий на основе порошковых поглотителей электромагнитного излучения / Г.А. Пухир // Теоретические и прикладные проблемы информационной безопасности: тез. докл. междунар. науч.-практ. конф., Минск, 21 июня 2012 г. / М-во внутр. дел Респ. Беларусь, учреждение образования «Акад. М-ва внутр. дел Респ. Беларусь»; редкол.: В.Б. Шабанов [и др.]. – Минск, 2012. – С. 164–166.

20. Махмуд, М.Ш. Экранирующие свойства шунгитобетона с органическими влагоудерживающими добавками / М.Ш. Махмуд, Г.А. Пухир // Технические средства защиты информации: тез. докл. XI Белорусско-российской науч. техн. конф., Минск, 5–6 июня 2013 г. / БГУИР; редкол.: Л.М. Лыньков [и др.]. – Минск, 2013. – С. 67.

21. Пухир, Г.А. Выбор растворных наполнителей влагосодержащих экранирующих материалов для защиты информационных объектов от воздействия электромагнитных излучений / Г.А. Пухир, Т.А. Пулко, Н.В. Насонова // Технические средства защиты информации: тез. докл. VIII Белорусско-российской науч.-техн. конф., Браслав, 24–28 мая 2010 г. / БГУИР; редкол.: Л.М. Лыньков [и др.]. – Минск, 2010. – С. 76.

22. Пухир, Г.А. Способы герметизации активных поглощающих компонентов экранов электромагнитного излучения и их влияние на защитные свойства экранирующих конструкций / Г.А. Пухир, М. Аль-Махди // Технические средства защиты информации: тез. докл. IX Белорусско-российской науч.-техн. конф., Минск, 28–29 июня 2011 г. / БГУИР; редкол.: Л.М. Лыньков [и др.]. – Минск, 2011. – С. 74.

**РЭЗІЮМЭ**

Пухір Галіна Аляксандраўна

**Экраны электрамагнітнага выпраменьвання на аснове вільгацезмяшчальных матэрыялаў, эксплуатаемых ў розных тэмпературных умовах у сістэмах аховы інфармацыі**

**Ключавыя словы:** канал пабочных электрамагнітных выпраменьванняў, каэфіцыент адлюстравання, аслабленне электрамагнітнага выпраменьвання, экраны электрамагнітнага выпраменьвання, сілікагель, здробленая драўніна, вільгацезмяшчальныя кампазіцыйныя матэрыялы, тэмпература.

**Мэта працы:** рапрацоўка экрану электрамагнітнага выпраменьвання на аснове валакністых і парашковых вільгацезмяшчальных матэрыялаў у розных звязваючых, якія захоўваюць свае экраніруючыя характарыстыкі пры эксплуатацыі ва ўмовах уздеяння розных тэмператур для стварэння тэхнічных сродкаў аховы інфармацыі ад уцечкі па аптычнаму і электрамагнітнаму каналам.

**Метады даследавання і выкарыстаная апаратура:** экраніруючыя характарыстыкі кампазіцыйных матэрыялаў у дыяпазоне частот 8...12 ГГц атрыманы з дапамогай панарамнага вымяральніка КСВН і паслаблення Я2Р – 67 з ГКЧ – 61, у дыяпазоне 0,5...18 ГГц – вымяральнага комплексу SNA 0,01 – 18, для даследавання аптычных уласцівасцяў выкарыстоўваўся спектрарадыёметр ПСР – 02. Тэмпературная апрацоўка матэрыялаў ажыццяўлялася з дапамогай лабараторных награвальных прыбораў: сушыльнага шкафа ШСУ 150 °С і муфельнай лабараторнай печы СНОЛ 20/1300. Вымярэнне тэмпературы ажыццяўлялася з выкарыстаннем цеплавізійнай тэхнікі і тэрмометра ТС-7-М1.

**Атрыманыя вынікі і іх навізна:** распрацаваны экраны электрамагнітнага выпраменьвання на аснове вільгацезмяшчальных здробленай драўніны і сілікагелю са стабільнымі экраніруючымі характарыстыкамі ў абмежаваннях  $\pm 10\%$  у тэмпературным дыяпазоне ад 253 К да 393 К з улікам сумяшчальнасці кампанентаў, што дае магчымасць выкарыстоўваць прапанаваныя канструкцыі для аховы аб'ектаў ваеннай тэхнікі ад сродкаў радыёэлектроннай разведкі і зніжэння прыкметнасці ў аптычным і ЗВЧ-дыяпазонах.

**Ступень выкарыстання:** распрацаваныя тэхналагічныя працэсы фарміравання радыёпаглынальных матэрыялаў ужываюцца ў працесе вырабу экрану электрамагнітнага выпраменьвання ў ААТ «ЦНИИЛКА» (РФ) і ў навучальным працесе БДУІР.

**Вобласць ужывання:** інфармацыйная бяспека.

**РЕЗЮМЕ**

Пухир Галина Александровна

**Экраны электромагнитного излучения на основе влагосодержащих материалов, эксплуатируемых при различных температурных условиях в системах защиты информации**

**Ключевые слова:** канал побочных электромагнитных излучений, коэффициент отражения, ослабление электромагнитного излучения, экраны электромагнитного излучения, силикагель, измельченная древесина, влагосодержащие композиционные материалы, температура.

**Цель работы:** разработка экранов электромагнитного излучения на основе волокнистых и порошковых влагосодержащих материалов в различных связующих основах, сохраняющих экранирующие характеристики при эксплуатации в условиях воздействия различных температур для создания технических средств защиты информации от утечки по оптическому и электромагнитному каналам.

**Методы исследования и использованная аппаратура:** экранирующие характеристики исследуемых композиционных материалов в диапазоне 8...12 ГГц получены с помощью панорамного измерителя КСВН и ослабления Я2Р – 67 с ГКЧ – 61, в диапазоне 0,5...18 ГГц – измерительного комплекса SNA 0,01 – 18, для исследования оптических свойств использовался спектрорадиометр ПСР – 02. Температурная обработка материалов осуществлялась с помощью лабораторных нагревательных приборов: сушильного шкафа ШСУ 150 °С и муфельной лабораторной печи СНОЛ 20/1300. Измерение температуры производилось с использованием тепловизионной техники и термометра ТС-7-М1.

**Полученные результаты и их новизна:** разработаны экраны электромагнитного излучения на основе влагосодержащих измельченной древесины и силикагеля со стабильными характеристиками в пределах  $\pm 10\%$  в температурном диапазоне от 253 К до 393 К с учетом совместимости компонентов, что позволяет использовать предложенные конструкции для защиты объектов военной техники от средств радиоэлектронной разведки и снижения заметности в оптическом и СВЧ-диапазонах.

**Степень использования:** разработанные технологические процессы формирования радиопоглощающих материалов применяются для изготовления экранов электромагнитного излучения в ОАО «ЦНИИЛКА» (РФ) и в учебном процессе БГУИР.

**Область применения:** информационная безопасность.

## SUMMARY

Pukhir Halina Aleksandrovna

### **Electromagnetic radiation shields for the electromagnetic and optical leakage channels means of information protection based on water-containing materials operating at different temperatures**

**Keywords:** channel of stray electromagnetic radiation, reflection coefficient, attenuation of electromagnetic radiation, electromagnetic radiation shields, silica, chopped wood, water-containing composite, temperature.

**Aim of the work:** development of electromagnetic radiation shield based on fiber and powdered water-containing materials binders of various bases, preserving shielding characteristics operating at different temperatures for the electromagnetic and optical leakage channels means of information protection.

**Research methods and used facilities:** the electromagnetic radiation shielding properties of the researching composites in the frequency range 8...12 GHz have been obtained using the panoramic analyzer VSWC and attenuation YA2R – 67 with SWG – 61, in the frequency range 0.5...18 GHz – the measuring complex SNA 0.01 – 18; spectral and polarization characteristics have been determined with use of the spectroradiometer PSR – 02. Temperature studies of the materials were carried out using laboratory heaters: drying cabinet SHSU 150 °C and laboratory muffle furnace SNOL 20/1300. Temperature measurements were performed using the thermal imaging equipment and thermometer TS-7-M1.

**The obtaining results and their novelty:** electromagnetic radiation shields based on water-containing chopped wood and silica with stable characteristics within  $\pm 10\%$  in the temperature range from 253 K till 393 K considering compatibilities of components, has been developed for application of the proposed design as the protection of military equipment objects from the means of electronic intelligence and reduce visibility in the optical and microwave bands.

**Extend of usage:** the developed processes of formation of electromagnetic radiation absorbing materials are used for making electromagnetic radiation shields in JSC “CNIILKA” (Russian Federation) and in the educational process at BSUIR.

**Field of application:** information security.



*Научное издание*

**Пухир** Галина Александровна

**ЭКРАНЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ  
ВЛАГОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ, ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ПРИ  
РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ В СИСТЕМАХ 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	Формат 60×84 <sup>1</sup> / <sub>16</sub> .	Бумага офсетная
Гарнитура «Таймс».	Отпечатано на ризографе.	Усл. печ. л.
Уч.-изд. л.	Тираж 60	Заказ

---

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