

Учреждение образования
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

УДК [537.531:621.762]:004.056

АХМЕД
Абдулбасет Араби А.

**ЭКРАНЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ
МОДИФИЦИРОВАННЫХ ХЛОПКОПОЛИЭФИРНЫХ ТКАНЫХ
ПОЛОТЕН С НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫМ ФЕРРОМАГНИТНЫМ
МИКРОПРОВОДОМ**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

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

Минск 2016

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

Научный руководитель **Лыньков Леонид Михайлович**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры защиты информации учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Официальные оппоненты: **Лабунов Владимир Архипович**, доктор технических наук, академик НАН Беларуси, профессор, заведующий научно-исследовательской лабораторией интегрированных микро- и наносистем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Горшков Сергей Анатольевич, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры радиолокации и приемопередающих устройств учреждения образования «Военная академия Республики Беларусь»

Оппонирующая организация Государственное научно-производственное объединение «Научно-производственный центр НАН Беларуси по материаловедению»

Защита состоится « 26 » января 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 « ____ » декабря 2016 г.

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

Н.В. Насонова

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Применение устройств радиоэлектроники в различных сферах деятельности становится все более актуальным в связи с расширяющимся микроволновым диапазоном функционирования (0,1...300 ГГц). В частности, это относится к развитию систем телекоммуникаций, радарной техники, медицинской электроники, экологии, бытовой техники, устройств защиты информации, специальной техники.

Взаимодействие электромагнитного излучения с различными средами основано на его отражении, ослаблении и поглощении. Создание таких сред в различном исполнении представляет собой весьма сложную задачу, которая имеет комплексную основу при разработке устройств, закрываемых электромагнитными экранами из наборов широкого круга материалов.

Обоснование выбора участка диапазона частот, в котором осуществляется исследование материалов для электромагнитного экранирования, является очень важным в части обеспечения быстродействия радиоэлектронной аппаратуры, снижения веса изделий, функциональной способности. В связи с этим весьма перспективными представляются материалы для электромагнитного экранирования, выполняемые методами групповой технологии в виде текстильных и трикотажных полотен, имеющих контролируемую пористость, достаточно большую площадь и толщину, позволяющих создавать каркасы таких материалов в виде органических и неорганических нитей различной толщины и с разным набором наполнителей. Проводимости таких материалов можно изменять путем их модифицирования в широких пределах, что является весьма перспективным для расширения возможных сфер их использования.

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» № 536-о от 06.12.2013 г. и соответствует подразделам 5 «Информатика и космические исследования» и 8 «Многофункциональные материалы и технологии» приоритетных направлений фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2016–2020 гг., утвержденных Постановлением Совета Министров Республики Беларусь 12.03.2015 № 190.

Работа выполнялась в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» в рамках Государственной программы прикладных исследований шифр «Компомат», утвержденной Постановлением Совета Министров Союзного государства № 46 от 12 декабря 2012 г. (2012–2015 гг.).

Цель и задачи исследования

Цель диссертационной работы состоит в исследовании эффективности экранов электромагнитного излучения на основе хлопкополиэфирных тканых полотен с ферромагнитным наноструктурированным микропроводом, модифицированных водными растворами солей никеля, меди, кальция, и исследовании их характеристик передачи и отражения для использования в качестве элементов электромагнитных экранов для технических средств защиты информации.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Провести анализ литературных источников и патентной информации об использовании магнитных материалов и их взаимодействии с электромагнитным излучением.

2. Исследовать влияние модифицирования тканых полотен за счет пропитки их водными растворами на основе солей хлористого кальция на характеристики ослабления и отражения электромагнитного излучения.

3. Исследовать влияние модифицирования тканых полотен осаждением никеля и меди на их поверхность и изменения характеристик передачи и отражения электромагнитного излучения.

4. Разработать, изготовить и исследовать конструкции экранов электромагнитного излучения на основе модифицированных хлопкополиэфирных тканей с наноструктурированным ферромагнитным микропроводом (НФМП), провести их тестирование на горючесть для использования в технических средствах защиты информации.

Научная новизна

Научная новизна заключается в установлении закономерностей и условий модифицирования хлопкополиэфирных полотен с наноструктурированным ферромагнитным микропроводом водными растворами солей никеля, меди, кальция и их влияния на обеспечение и возможность регулирования характеристик их эксплуатации в качестве элементов экранов ЭМИ в технических средствах защиты информации. Экспериментально обоснованы условия модификации,

позволяющие исключить возникновение открытого пламени на поверхности модифицированных водным раствором соли кальция хлопкополиэфирных полотен с наноструктурированным ферромагнитным микропроводом, а также повысить их эффективность по ослаблению ЭМИ с повышением мощности излучения.

Положения, выносимые на защиту

1. Экспериментальное обоснование электромагнитных экранов на основе хлопкополиэфирной ткани с наноструктурированным ферромагнитным микропроводом, модифицированной путем химического осаждения осадков меди из растворов на основе сульфата меди и соединений никеля Mg_2Ni из растворов на основе хлорида и сульфата никеля, на поверхность волокон, что позволяет снизить коэффициент отражения таких полотен до -7 дБ в диапазоне частот $8...12$ ГГц.

2. Экспериментальное обоснование модифицирования хлопкополиэфирной ткани с наноструктурированным ферромагнитным микропроводом водными растворами хлорида кальция (до 50 %), что приводит к повышению до $5...7$ дБ значения ослабления электромагнитных излучений, снижению значений коэффициента отражения до -15 дБ в диапазоне частот $0,7...17$ ГГц, обеспечению снижения уровня электромагнитных воздействий до 2,5 раза при повышении мощности от 1 до 5 мВт, и позволяет предложить их применение в качестве компонентов панелей электромагнитной защиты объектов информатизации.

3. Модифицирование хлопкополиэфирной ткани с наноструктурированным ферромагнитным микропроводом пропиткой водой характеризуется равномерным снижением коэффициента спектральной яркости от значений 0,22 до 0,85 отн. ед. на $0,13...0,25$ отн. ед. в диапазоне длин волн $400...2300$ нм, что позволяет использовать их в качестве имитаторов природных растительных объектов для систем одновременного скрывания от микроволновых и оптических средств обнаружения.

4. Совокупность экспериментальных данных, доказывающих, что термообработка открытым пламенем образцов хлопкополиэфирной ткани с наноструктурированным ферромагнитным микропроводом, пропитанной 50%-ным водным раствором хлористого кальция, приводит к ее огнестойкости за счет образования силиката кальция (Ca_2O_4Si), везувианита ($Al_{5,2}Ca_{9,16}Cl_{0,23}F_{1,674}Fe_{0,62}H_{2,6}Mg_{0,516}Na_{0,04}O_{371}Si_{8,915}Ti_{0,64}$), пироксфероита ($Ca_{0,94}Fe_{6,06}O_{21}Si_7$) и тринатрийфосфатного дикалиевого трифосфидосиликата ($K_2Na_3P_2Si$) при взаимодействии компонентов пропитываемого материала с компонентами, содержащимися в растворах, что позволяет применять их в системах защиты информации, устойчивых к воздействию открытого пламени.

Личный вклад соискателя ученой степени

Все основные результаты, изложенные в диссертационной работе, получены соискателем самостоятельно. Выбранная тема потребовала различных междисциплинарных знаний и участия специалистов в различных областях. В совместно опубликованных работах автору принадлежат: определение целей и постановка задач исследования, выбор методов исследования, непосредственное участие в проведении экспериментов по получению материалов, их модифицированию и изучению свойств, разработке конструкций экранов ЭМИ на их основе, а также обработка, анализ и интерпретация полученных результатов, формулировка выводов.

Основными соавторами опубликованных работ являются: научный руководитель д-р техн. наук, профессор Л.М. Лыньков, который принимал участие в планировании работ и обсуждении результатов, канд. техн. наук Т.А. Пулко, канд. техн. наук Аль-Адеми Я.Т.А., канд. техн. наук Н.В. Насонова, совместно с которыми разрабатывались методы модифицирования тканых полотен и конструкции экранов ЭМИ.

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов

Основные положения и результаты работы докладывались на многочисленных научных конференциях и семинарах: научно-практическом семинаре «Волокна и волокнистые материалы специального назначения и разработки», Минск, 14 июля 2015 г.; X Международной научно-практической конференции «Управление информационными ресурсами», Минск, 2013 г.; Международной научно-технической конференции, приуроченной к 50-летию МРТИ–БГУИР, Минск, 2014 г.; 24-й Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии», Севастополь, Украина, 7–13 сентября 2014 г.; Международном научно-техническом семинаре «Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных», Минск, 16–18 октября 2013 г.; Международном научно-техническом семинаре «Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных», Минск, апрель 2014 г.; XI Международной научно-практической конференции «Управление информационными ресурсами», Минск, 12 декабря 2014 г.; XII Белорусско-российской научно-технической конференции «Технические средства защиты информации», Минск, 5–6 июня 2013 г.; XII Международной научно-практической конференции «Управление информационными ресурсами», Минск, 11 декабря 2014 г.; XIII Белорусско-российской научно-технической конференции «Технические средства защиты информации», Минск, 4–5 июня 2015 г.

Опубликование результатов диссертации

По результатам исследований, представленных в диссертации, опубликовано 19 работ, в том числе 1 монография, 6 статей в научных журналах, 12 публикаций в сборниках материалов и тезисов конференций.

Общий объем публикаций по теме диссертации, соответствующих пункту 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоения ученых званий в Республике Беларусь, составляет 7,5 авторского листа.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав с выводами по каждой главе, заключения, библиографического списка и приложений.

Общий объем диссертационной работы составляет 165 страниц, из них 95 страниц текста, 118 рисунков на 30 страницах, 8 таблиц на 8 страницах, библиографический список из 134 источников на 13 страницах, включая 19 собственных публикаций автора на 3 страницах, 4 приложения на 5 страницах.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Во **введении** определены основные направления проводимых исследований, их актуальность, показана необходимость их проведения.

В **первой главе** на основании анализа литературных данных и патентной информации показано, что для пассивной защиты от современных видов электромагнитного излучения (ЭМИ) используются самые разнообразные материалы и изделия на их основе, размещаемые между источником излучений и объектом воздействия, который может представлять собой как технический объект, так и объект живой природы. К числу таких относится широкий спектр магнитных материалов, обладающих свойствами поглощения ЭМИ в различных диапазонах частот.

Для многих видов применений радиопоглощающие материалы выполняются в виде композитов с использованием порошков ферритов, размещаемых в различных клеях, красках, пластмассах и других связующих. Стабильность характеристик отражения ЭМИ в таких материалах сохраняется при температурах эксплуатации не выше точки Кюри. Такие композиты в первую очередь характеризуются толщиной до нескольких миллиметров и небольшим весом (до 1 кг/м^2). Показано, что электромагнитные экраны на основе таких материалов, как правило, характеризуются резонансом поглощения ЭМИ на различных частотах в зависимости от вида магнитного материала (наноразмерные и микроразмерные кристаллы и порошки), толщины материала и способов изготовления.

На основании анализа экранов ЭМИ для различных видов применений установлено, что все большую актуальность приобретают гибкие конструкции поглотителей, основанные на использовании современного технологического (ткацкого и трикотажного) оборудования, путем нанесения покрытий из различных материалов методами вакуумного осаждения, электрохимического и химического осаждения, золь-гель осаждения на различные текстильные, трикотажные и другие полотна. В настоящее время такие виды изделий характеризуются достаточно высокой стоимостью изготовления, нуждаются в применении мер по нанесению дополнительной изоляции на материал поглотителя. Кроме того, применение таких изделий в составе экранов требует исследования их характеристик в зависимости от температуры эксплуатации.

Во **второй главе** проведено обоснование и предложено для создания многослойных конструкций экранов электромагнитного излучения различного назначения на основе тканых полотен, содержащих НФМП, использование различных дополнительных вспомогательных материалов, изготавливаемых на промышленных предприятиях (в основном строительной и химической отрасли). Для панелей электромагнитно-акустической защиты обосновано использование гипсокартона, алюминиевой фольги, утеплителя «Пенофол», битумомастичных материалов, различных клеевых основ.

Проведен выбор и обоснование оснастки и оборудования для создания многослойных элементов конструкций электромагнитных экранов размером 0,3 м² и более, в которых в качестве базового элемента используются модифицируемые полотна с ферромагнитным наноструктурированным микропроводом. Для этих целей предложены различные профессиональные устройства – электроножницы, пневматические пистолеты и распылители для нанесения огнестойчивых клеевых составов и мастик, водных химических растворов, термопрессов для обработки текстильных полотен и термосклеивателей для органических герметизирующих пленок.

Для исследования электромагнитных характеристик ослабления и коэффициентов отражения в СВЧ-диапазоне использовались современные автоматизированные анализаторы цепей и волноводных трактов.

Эффективность экранирования средств компьютерной техники изучали с использованием аппаратно-программного комплекса на основе анализатора цепей Agilent E7404 и направленной антенны HE300. В качестве свипирующего генератора (перестраиваемого по частоте сигналов) использовали многофункциональный имитатор «Шиповник-2».

Исследования спектральных характеристик яркости модифицированных полотен в видимом (400...900 нм) и инфракрасном диапазонах (1100...2300 нм) длин волн проводили с использованием спектрополяриметра Гемма-МС-09.

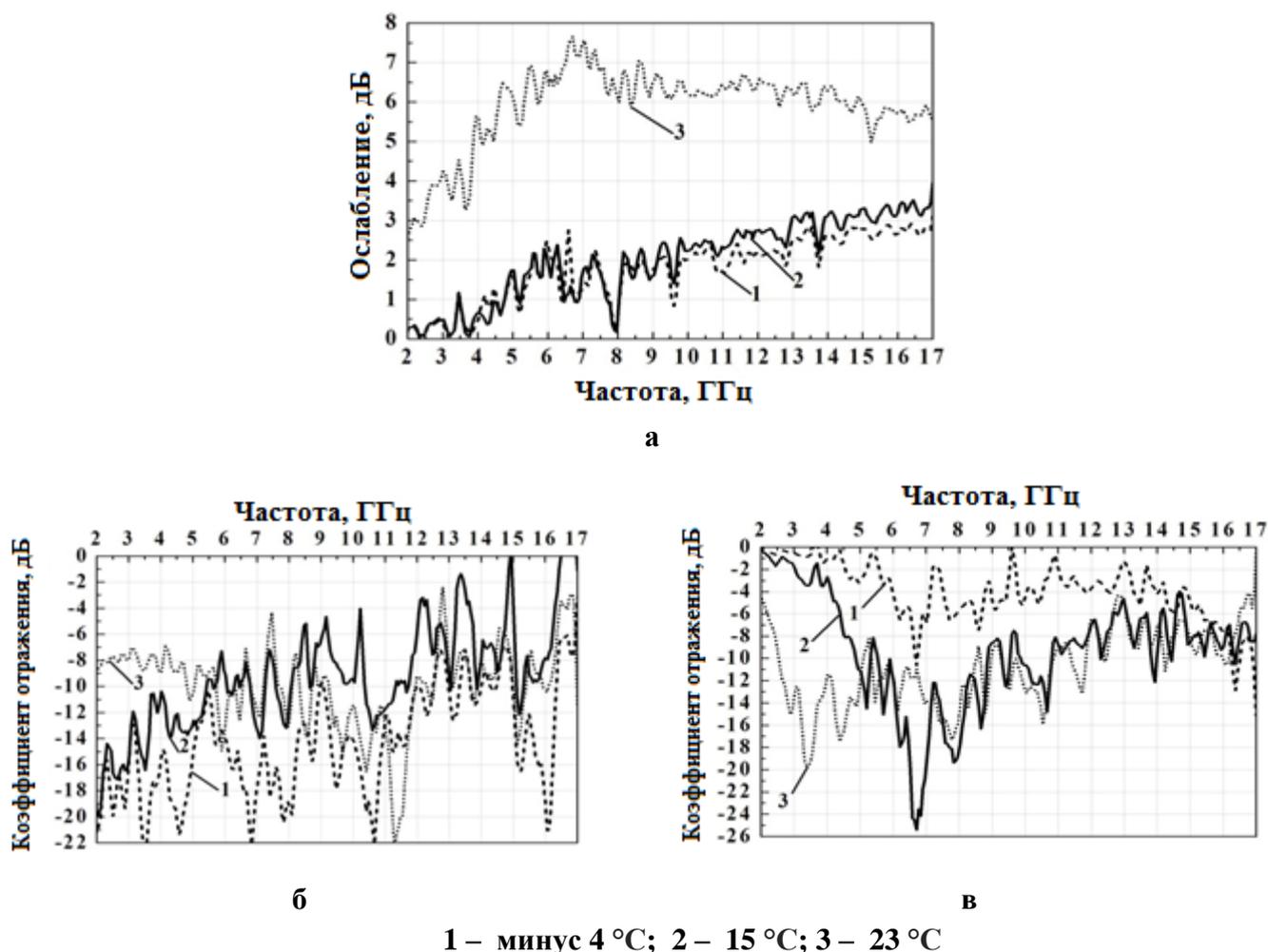
В третьей главе представлены результаты исследования характеристик экранов ЭМИ на основе модифицированных тканых хлопкополиэфирных полотен с НФМП.

Предложена методика пропитки хлопкополиэфирных полотен с различным содержанием ферромагнитного микропровода водой и водными растворами для их модификации и расширения функциональных возможностей практического использования. Показано, что заполнение тканых полотен водой до 53 % масс. приводит к увеличению ослабления на величину до 4 дБ и снижению коэффициента отражения до уровня –4 дБ в частотном диапазоне 0,7...17 ГГц. Установлено снижение коэффициента отражения образцов, пропитанных водой до уровня –12...–10 дБ в диапазоне частот 3...12 ГГц для образцов с меньшей концентрацией ферромагнитного материала.

Показано, что пропитка хлопкополиэфирных полотен с НФМП 50%-ным раствором хлорида кальция приводит к повышению коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц в среднем на величину до –2 дБ и характеризуется резонансным снижением коэффициента отражения ЭМИ до –10 дБ в диапазоне 1...7 ГГц по сравнению с пропиткой водой.

Проведено исследование влияния температуры на частотные зависимости значений характеристик ослабления и коэффициента отражения в условиях охлаждения менее нуля градусов Цельсия модифицированными водными растворами и водой хлопкополиэфирными полотнами с различным содержанием НФМП. Показано, что использование солевых водных растворов и воды для

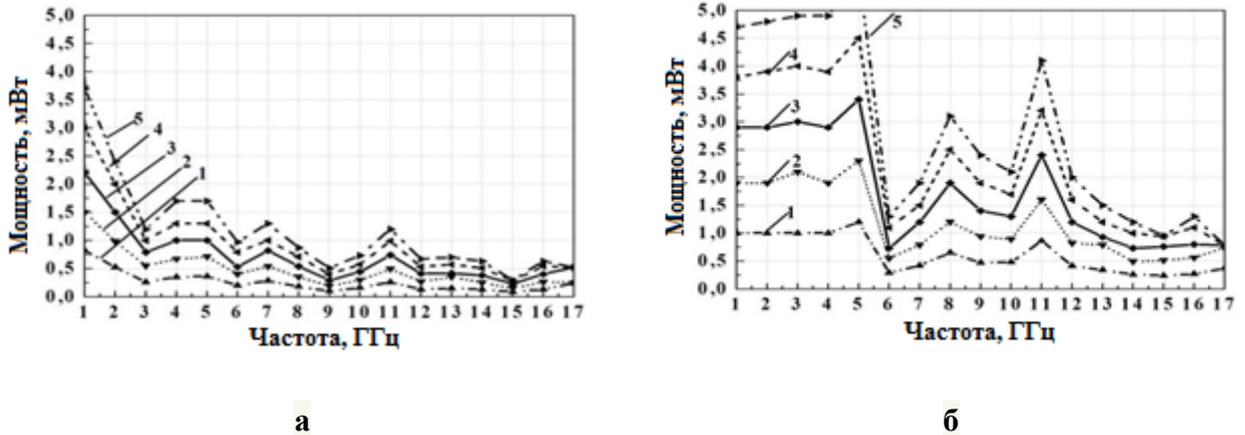
модифицирования таких полотен приводит к увеличению коэффициента отражения при температурах менее минус 4 °С на величину до 5–6 раз по сравнению с модификацией полотен дистиллированной водой (рисунок 1). Использование пропиток насыщенными растворами хлористого кальция приводит к снижению коэффициента отражения до 2 раз в режиме короткого замыкания. С увеличением температуры образцов, модифицированных растворами хлористого кальция, до 150 °С значение коэффициента отражения сравнимо с частотной характеристикой материала без пропитки. Установлено, что снижение температуры со 150 до 22 °С приводит к снижению коэффициента отражения до 3...5 раз такими материалами.



а – ослабление ЭМИ; б – коэффициент отражения ЭМИ в режиме согласованной нагрузки; в – коэффициент отражения ЭМИ в режиме короткого замыкания

Рисунок 1. – Частотная зависимость экранирующих характеристик в диапазоне 2...17 ГГц образцов материала с чередованием нитей утка с НФМП в соотношении 1:4, пропитанных водой, при различных температурах

Показано, что хлопкополиэфирные полотна, содержащие ферромагнитный микропровод, характеризуются незначительным значением ослабления ЭМИ в частотном диапазоне 1...15 ГГц при изменении мощности падающего ЭМИ от 1 до 5 мВт. Пропитка водой таких полотен приводит к увеличению значений ослабления мощности ЭМИ до 2,5 раз в частотном диапазоне 0,7...3 ГГц и стабилизации данных значений в диапазоне частот 3...16 ГГц (рисунок 2).



1 – $P_{вх} = 1$ мВт; 2 – $P_{вх} = 2$ мВт; 3 – $P_{вх} = 3$ мВт; 4 – $P_{вх} = 4$ мВт; 5 – $P_{вх} = 5$ мВт

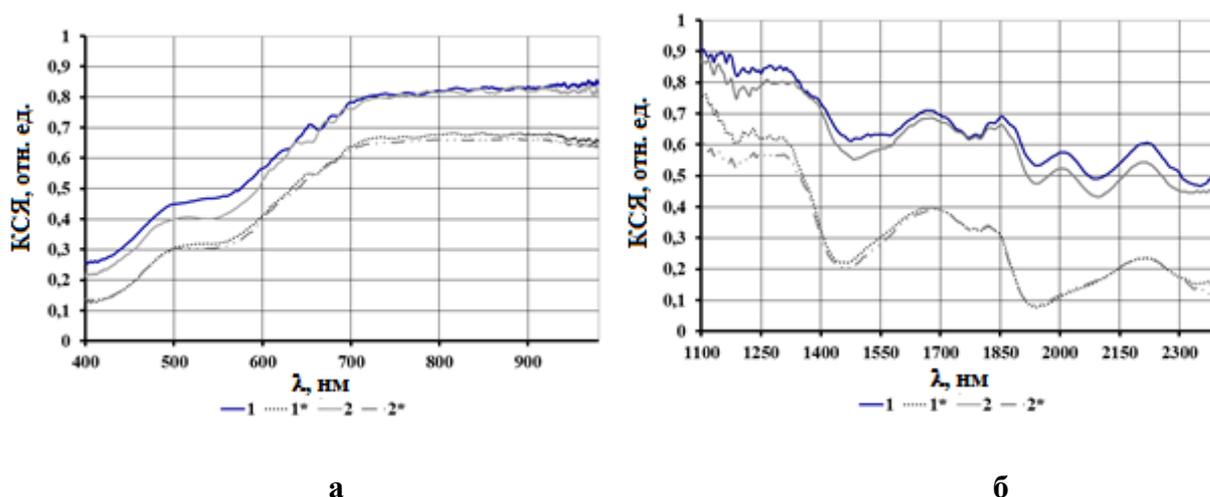
$P_{вх}$ – уровень мощности падающего ЭМИ

а – полотно, пропитанное водой; б – сухое полотно

Рисунок 2. – Частотная зависимость уровня мощности ЭМИ, прошедшего через полотно, содержащее НФМП в соотношении нитей утка к нитям с НФМП 1:3

Установлены зависимости спектрально-поляризационных характеристик в диапазоне длин волн 400...2300 нм хлопкополиэфирных полотен с наноструктурированным ферромагнитным микропроводом до и после модификации.

Установлено, что коэффициент спектральной яркости тканых хлопкополиэфирных полотен изменяется от 0,22 до 0,85 отн. ед., а их пропитка водой приводит к равномерному снижению величины коэффициента спектральной яркости на 0,13...0,25 отн. ед. в диапазоне длин волн 400...2300 нм. Анализ полученных спектров отражения показал, что полученные спектральные характеристики яркости образцов наиболее приближены по виду к характеристикам природных растительных объектов (рисунок 3).



1 – образец тканого хлопкополиэфирного полотна; 1* – образец тканого хлопкополиэфирного полотна, пропитанного водой; 2 – образец тканого хлопкополиэфирного полотна, содержащего ферромагнитный наноструктурированный микропровод; 2* – образец тканого хлопкополиэфирного полотна, содержащего ферромагнитный наноструктурированный микропровод, пропитанного водой

а – характеристики КСЯ в видимом диапазоне длин волн; б – характеристики КСЯ в ближнем инфракрасном диапазоне длин волн

Рисунок 3. – Характеристики коэффициента спектральной яркости хлопкополиэфирного полотна, содержащего ферромагнитный наноструктурированный микропровод, при угле наблюдения 0°

В четвертой главе представлены результаты исследования влияния химического осаждения меди и никеля на поверхность хлопкополиэфирных тканей с НФМП.

Исследован процесс химического осаждения меди на поверхность хлопкополиэфирной ткани с НФМП из водного раствора на основе сульфата меди. С использованием результатов рентгеноструктурного и рентгеноспектрального анализов (рисунок 4) установлена возможность получения осадков меди размером 10...50 мкм на поверхности волокон и их неравномерность распределения. Показано, что химическое осаждение меди из водного раствора на поверхность хлопкополиэфирной ткани с НФМП обуславливает уменьшение в среднем на 1 дБ значения ее коэффициента отражения ЭМИ и изменение в среднем на 0,6 дБ значения коэффициента передачи ЭМИ в диапазоне частот 8...12 ГГц. Установлено снижение коэффициента отражения ЭМИ до -4...-7 дБ в диапазоне частот 8...12 ГГц ткани с НФМП после химического осаждения меди (при использовании металлического отражателя).

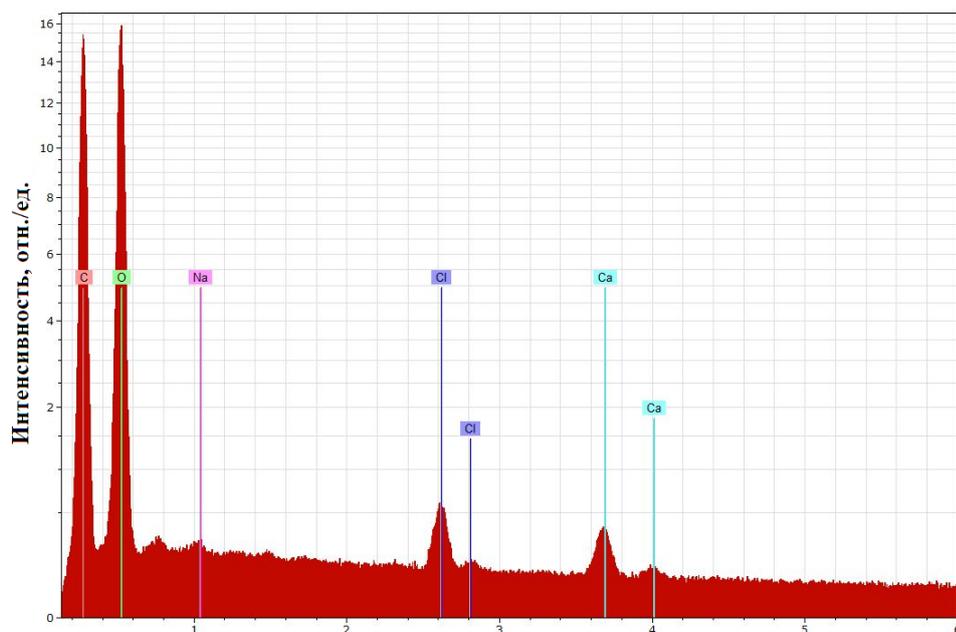


Рисунок 4. – Рентгеноспектрограмма хлопкополиэфирной ткани с НФМП

Исследован процесс химического осаждения никеля на поверхность хлопкополиэфирной ткани с НФМП из водных растворов на основе сульфата никеля и хлорида никеля. С использованием результатов рентгеноструктурного и рентгеноспектрального анализов установлено формирование соединения Mg_2Ni (рисунок 5) из раствора на основе хлорида никеля, не расположенного на поверхности обрабатываемых волокон ткани. Показано, что химическое осаждение никеля из водных растворов на поверхность волокон такой ткани может привести как к увеличению, так и к снижению значений ее коэффициентов отражения и ослабления ЭМИ (в зависимости от типа использованного раствора). В среднем указанные параметры изменяются на 2 дБ. Полученные результаты позволяют рекомендовать использовать исследованную ткань для формирования многослойных конструкций электромагнитных экранов, один из слоев которых будет содержать металлическую фольгу. Такие экраны будут характеризоваться значением коэффициента передачи ЭМИ до -40 дБ при значениях коэффициента отражения ЭМИ до -7 дБ.

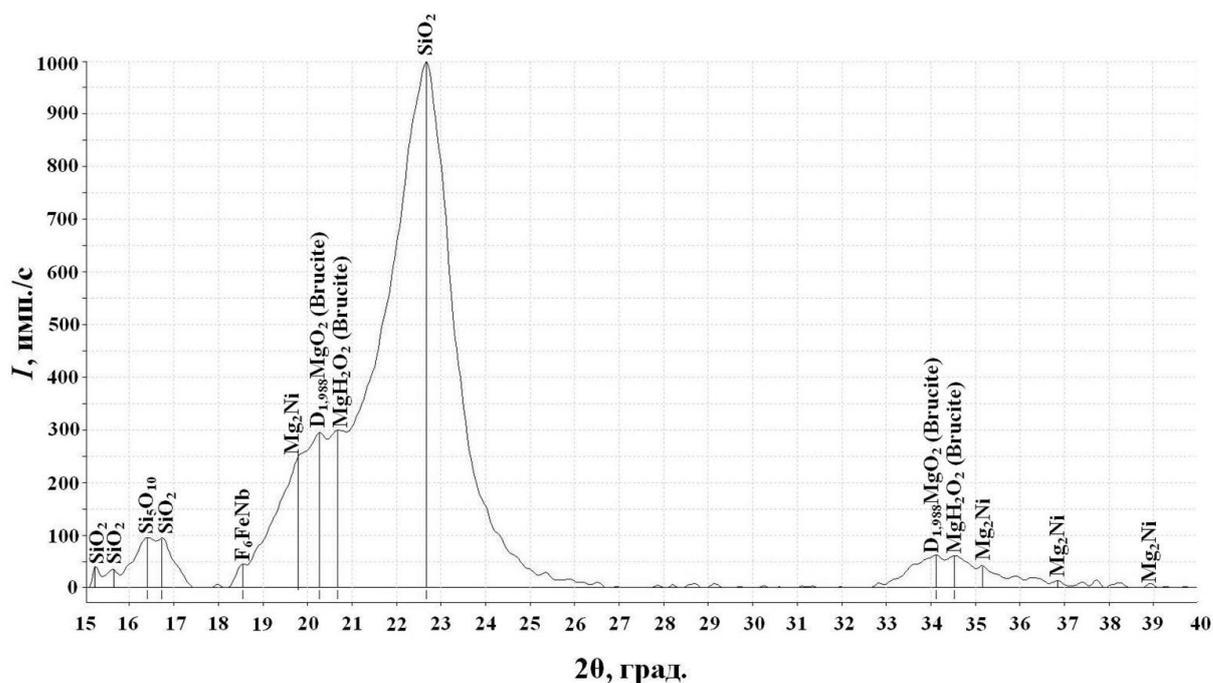
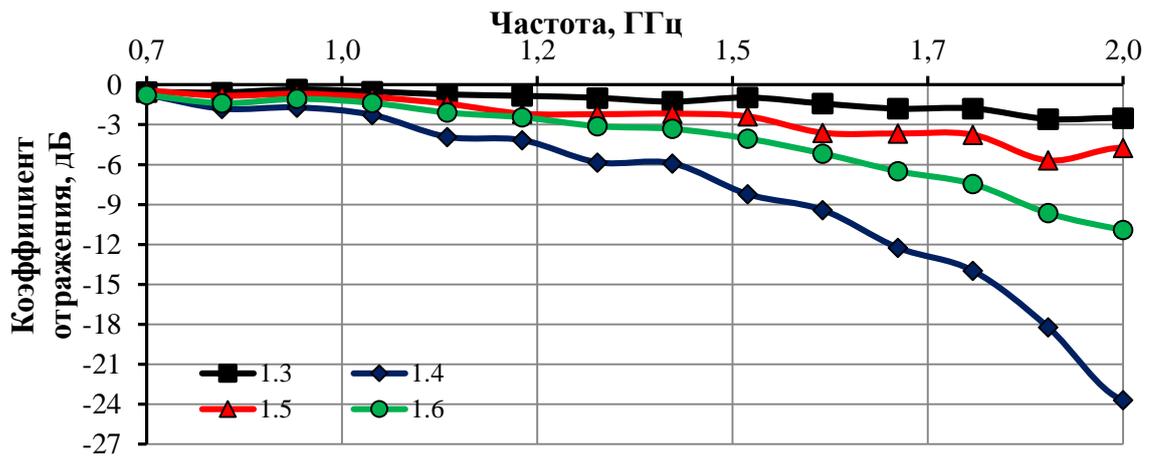


Рисунок 5. – Дифрактограмма хлопкополиэфирной ткани с НФМП после окончания процесса химического осаждения никеля

В пятой главе представлены результаты исследования характеристик отражения и передачи электромагнитного излучения экспериментальной партии электромагнитных экранов на основе комбинированных панелей с отделкой тканей с наноструктурированным ферромагнитным микропроводом и их испытание на горючесть.

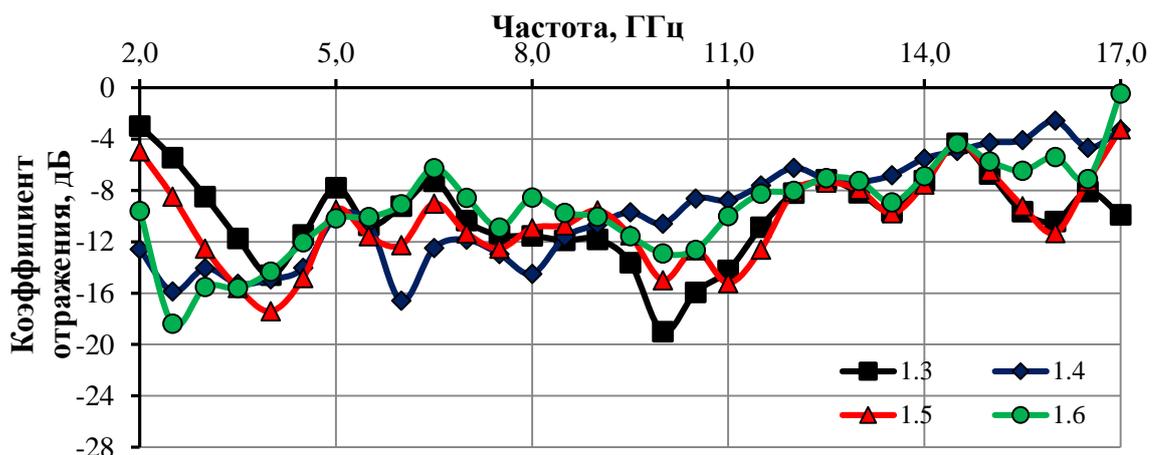
Проведено обоснование и предложено для создания многослойных конструкций экранов электромагнитного излучения различного назначения на основе тканых полотен, содержащих НФМП, использование различных дополнительных вспомогательных материалов, изготавливаемых на промышленных предприятиях (в основном строительной и химической отрасли). Для панелей электромагнитно-акустической защиты предложено использование гипсокартона, алюминиевой фольги, утеплителя «Пенофол», битумомастичных материалов, различных клеевых основ.

Показано, что в диапазоне частот 0,7...2 ГГц значения коэффициента отражения ЭМИ образца № 1.3 составляют $-0,1...-2,8$ дБ, образцов № 1.4, 1.5, 1.6 – $-0,1...-24$ дБ, $-0,1...-6$ дБ, $-0,1...-12$ дБ соответственно (рисунок 6). В диапазоне 2...17 ГГц величины указанного параметра для рассматриваемых образцов равны $-4...-20$ дБ, $-4...-16$ дБ, $-4...-18$ дБ, $-4...-18,5$ дБ (рисунок 7).



- 1.3 – ткань с НФМП / ткань с НФМП / пенофол; 1.4 – ткань с НФМП, пропитанная CaCl_2 / ткань с НФМП, пропитанная CaCl_2 / пенофол; 1.5 – ткань с НФМП / ткань с НФМП, пропитанная CaCl_2 / пенофол; 1.6 – ткань с НФМП, пропитанная CaCl_2 / ткань с НФМП / пенофол

Рисунок 6. – Частотные зависимости коэффициента отражения образцов конструкций экранов ЭМИ в диапазоне частот 0,7...2 ГГц

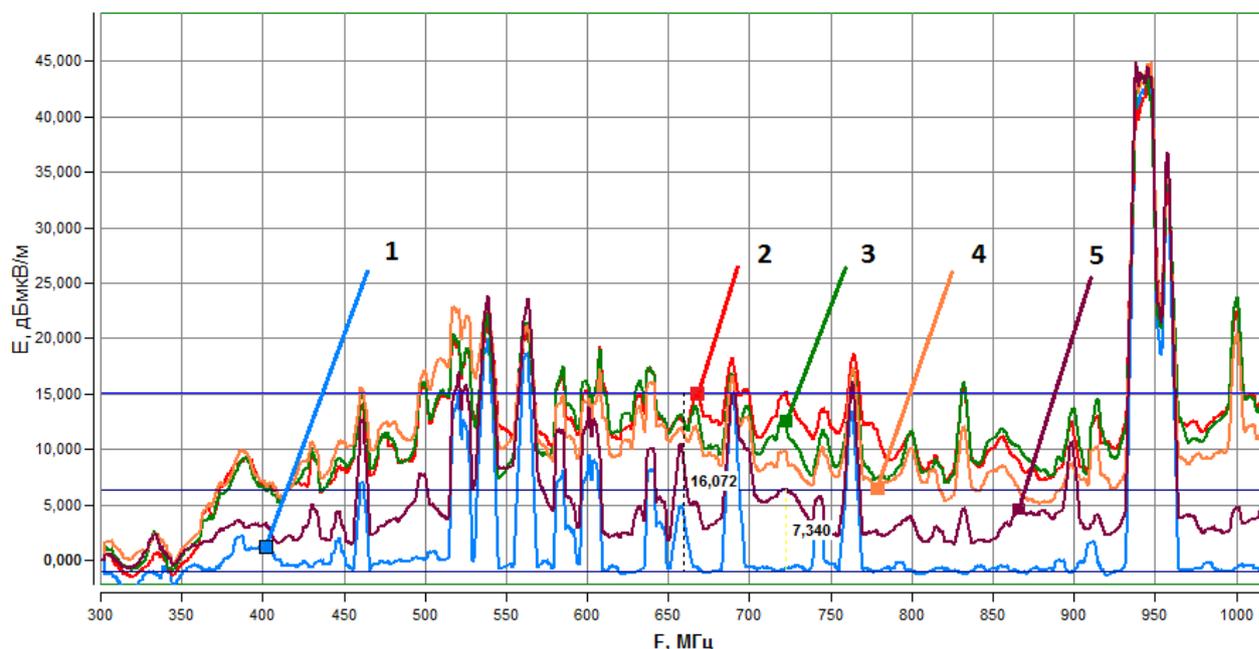


- 1.3 – ткань с НФМП / ткань с НФМП / пенофол; 1.4 – ткань с НФМП, пропитанная CaCl_2 / ткань с НФМП, пропитанная CaCl_2 / пенофол; 1.5 – ткань с НФМП / ткань с НФМП, пропитанная CaCl_2 / пенофол; 1.6 – ткань с НФМП, пропитанная CaCl_2 / ткань с НФМП / пенофол

Рисунок 7. – Частотные зависимости коэффициента отражения образцов конструкций экранов ЭМИ в диапазоне частот 2...17 ГГц

Разработаны технологические инструкции по изготовлению укрывных занавесов гибкой конструкции для защиты персонала и блоков электроаппаратуры от электромагнитных излучений и составных панелей для защиты пользователей персональных компьютеров от электромагнитных излучений. Показана возможность ослабления мощности ЭМИ персонального компьютера укрывными

материалами на основе хлопкополиэфирных тканей с НФМП в диапазоне частот 300...1000 МГц до 3 раз (рисунок 8) и на свиппирующих частотах 1,2 ГГц и 2,4 ГГц до 2...2,5 раз.



1 – электромагнитный фон в помещении; **2** – электромагнитный фон при включенном системном блоке ПК; **3** – ткань с НФМП; **4** – ткань с НФМП, пропитанная водой; **5** – ткань с НФМП, пропитанная водой, и слоем алюминиевой фольги

Рисунок 8. – Спектральная характеристика ЭМИ системного блока персонального компьютера с применением экранирующего материала

Таким образом, наиболее эффективны экраны ЭМИ, выполненные из хлопкополиэфирной ткани с НФМП с водным наполнителем и металлическим отражателем. Энергия сигнала уменьшается на 5,7 дБ, в то время как ткань с НФМП снижает ее на 0,5 дБ (таблица).

Таблица – Величины средней напряженности ЭМИ и средней мощности спектра системного блока ПК при наличии различных экранов

Экраны ЭМИ	Средняя напряженность ЭМИ, дБмкВ	Средняя мощность спектра ЭМИ, дБм
Электромагнитный фон в помещении	$5,31 \cdot 10^{-6}$	-104,67
Электромагнитный фон при включенном системном блоке ПК	$8,37 \cdot 10^{-6}$	-95,2
Ткань с НФМП	$7,84 \cdot 10^{-6}$	-95,73
Ткань с НФМП с водным наполнителем	$8,21 \cdot 10^{-6}$	-96,41
Ткань с НФМП с водным наполнителем и металлической фольгой	$7,05 \cdot 10^{-6}$	-100,91

Проведено экспериментальное исследование воздействия открытого пламени на немодифицированные и модифицированные пропиткой 50%-ным водным раствором хлористого кальция хлопкополиэфирных тканей с НФМП. Тестирование на горючесть показало самоподдерживающееся горение немодифицированных тканей в открытом пламени в течение 6 с и полное отсутствие самоподдерживающегося сгорания модифицированных образцов. С использованием рентгеноструктурного и рентгеноспектрального анализов установлено взаимодействие материала микропровода в стеклянной изоляции с образованием силиката кальция ($\text{Ca}_2\text{O}_4\text{Si}$) и тиллеулита ($\text{C}_2\text{Ca}_5\text{O}_{13}\text{Si}_2$) в случае сгорания немодифицированного тканого материала. Показано, что при воздействии открытого пламени на образцах ткани, пропитанной 50%-ным водным раствором хлористого кальция, формируются слои на основе силиката кальция ($\text{Ca}_2\text{O}_4\text{Si}$), везувианита ($\text{Al}_{5,2}\text{Ca}_{9,16}\text{Cl}_{0,23}\text{F}_{1,674}\text{Fe}_{0,62}\text{H}_{2,6}\text{Mg}_{0,516}\text{Na}_{0,04}\text{O}_{371}\text{Si}_{8,915}\text{Ti}_{0,64}$), пироксфероита ($\text{Ca}_{0,94}\text{Fe}_{6,06}\text{O}_{21}\text{Si}_7$) и тринатрийфосфатного дикалиевого трифосфидосиликата ($\text{K}_2\text{Na}_3\text{P}_2\text{Si}$), препятствующие появлению открытого пламени (рисунок 9).

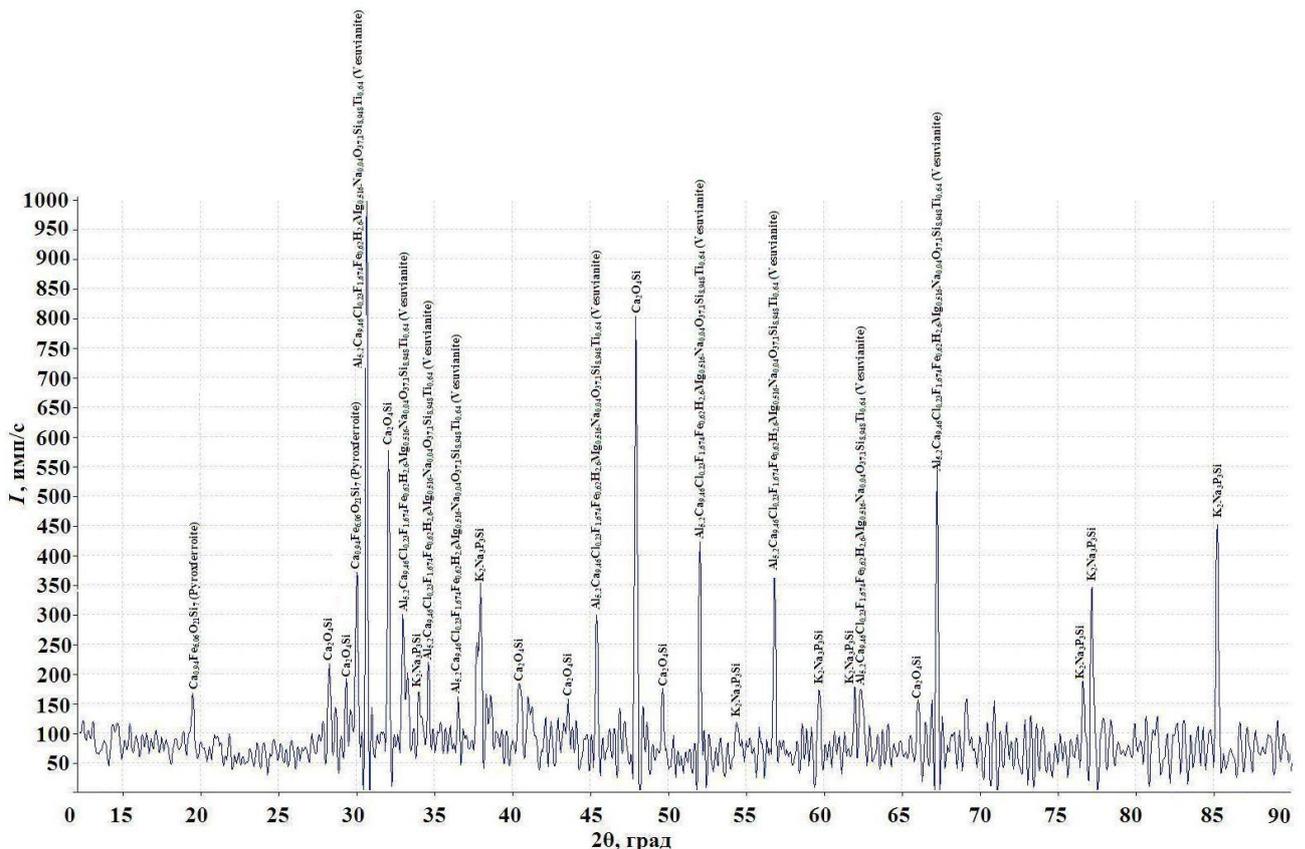


Рисунок 9. – Дифрактограмма материала, образовавшегося после огневой термообработки (60 с при температуре 1400 °С) хлопкополиэфирной ткани с НФМП

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Проведен комплекс исследований по влиянию добавок воды и водных растворов хлористого кальция в хлопкополиэфирные тканые полотна с НФМП на свойства экранирования электромагнитного излучения. Установлено снижение коэффициента отражения образцов тканей, пропитанных водой, до $-12 \dots -10$ дБ в диапазоне частот $3 \dots 12$ ГГц для полотен с меньшим содержанием микропровода. Показано резонансное снижение коэффициента отражения ЭМИ до -10 дБ в диапазоне частот $1 \dots 7$ ГГц при пропитке полотен 50%-ным раствором хлорида кальция. Установлено, что использование пропиток полотен насыщенным раствором хлорида кальция приводит к снижению коэффициента отражения до 2 раз в режиме короткого замыкания образцов металлическим электродом в условиях снижения температуры менее -4 °С [1, 2, 3, 10, 11, 13, 17].

2. Исследование спектрально-поляризационных характеристик хлопкополиэфирных полотен с НФМП позволило установить изменение коэффициента спектральной яркости от 0,22 до 0,85 отн. ед. в диапазоне длин волн $400 \dots 2300$ нм. Показано, что пропитка полотен водой приводит к равномерному снижению коэффициента спектральной яркости на $0,13 \dots 0,25$ отн. ед. и данные характеристики приближены к характеристикам природных растительных объектов [1, 8].

3. Показано, что модифицирование хлопкополиэфирной ткани с наноструктурированным микропроводом путем химического осаждения меди из электролитов на основе сульфатов меди на ее поверхности приводит к снижению коэффициента отражения ЭМИ до $-4 \dots -7$ дБ в режиме короткого замыкания в диапазоне частот $8 \dots 12$ ГГц. Установлено, что осадки меди размером $10 \dots 50$ мкм характеризуются неравномерностью распределения [1, 6].

4. Показано, что модифицирование хлопкополиэфирной ткани с НФМП путем химического осаждения никеля из раствора на основе хлорида никеля приводит к формированию соединений Mg_2Ni . Установлено снижение коэффициента отражения ЭМИ с -1 дБ до $-2,5 \dots -3$ дБ в режиме короткого замыкания в диапазоне частот $8 \dots 12$ ГГц [1, 4].

5. Показано, что модифицирование пропиткой 50%-ным водным раствором хлорида кальция хлопкополиэфирных тканей с НФМП приводит к образованию силиката кальция, везувианита, пироксфероита при взаимодействии с открытым пламенем газовой горелки и исключении возникновения открытого пламени на ее поверхности. Установлено, что после возгорания и самоподдерживаемого пламени немодифицированные полотна деструктурируются с образованием силиката кальция и тилеулита [1, 5, 7, 12].

Рекомендации по практическому использованию

Проведено обоснование и предложено для создания многослойных конструкций экранов электромагнитного излучения различного назначения на основе тканых полотен, содержащих НФМП, использование различных дополнительных вспомогательных материалов, изготавливаемых на различных промышленных предприятиях (в основном строительной и химической отрасли). Для панелей электромагнитно-акустической защиты предложено использование гипсокартона, алюминиевой фольги, утеплителя «Пенофол», битумомастичных материалов, различных клеевых основ. Разработаны технологические инструкции по изготовлению укрывных занавесов гибкой конструкции для защиты персонала и блоков электроаппаратуры от электромагнитных излучений и составных панелей для защиты пользователей персональных компьютеров от электромагнитных излучений. Показана возможность ослабления мощности ЭМИ персонального компьютера укрывными материалами на основе хлопкополиэфирных тканей с НФМП в диапазоне частот 300–1000 МГц до 3 раз и на свиппирующих частотах 1,2 и 2,4 ГГц до 2–2,5 раз [1, 9, 12, 13, 14, 15, 16, 18, 19].

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

Монография

1. Экраны электромагнитного излучения на основе магнитных материалов. Технологии. Конструкции. Применение / Л.М. Лыньков, Н.В. Насонова, Т.В. Борботько, В.А. Богущ, Я.Т.А. Адеми, А.А.А. Ахмед. – Минск: Бестпринт, 2016. – 223 с.

Статьи в рецензируемых научных журналах

2. Влияние влажности на экранирующие характеристики радиопоглощающих материалов / Н.В. Насонова, Т.А. Пулко, Я.Т.А. Аль-Адеми, А.А.А. Ахмед, Л.М. Лыньков // Вестник ГГТУ. – 2013. – № 2(53). – С. 86–90.

3. Композиционные экранирующие ЭМИ материалы с диэлектрическими и магнитными включениями / Н.В. Насонова, Я.Т.А. Аль-Адеми, А.А.А. Ахмед, Л.М. Лыньков // Электроника-инфо. – 2013. – № 6(96). – С. 33–34.

4. Бойправ, О.В. Влияние химического осаждения никеля из водных растворов на характеристики отражения и ослабления электромагнитного излучения полиэфирной экранирующей ткани с вложением наноструктурного ферромагнитного микропровода / О.В. Бойправ, А.А.А. Ахмед, Л.М. Лыньков // Доклады БГУИР. – 2014. – № 7(85). – С. 44–47.

5. Гибкие многослойные конструкции экранов электромагнитного излучения / А.А.А. Ахмед, Т.А. Пулко, Н.В. Насонова, Л.М. Лыньков // Доклады БГУИР. – 2015. – № 5(91). – С. 95–99.

6. Бойправ, О.В. Характеристики отражения и передачи электромагнитного излучения полиэфирной экранирующей ткани с вложением наноструктурного

ферромагнитного микропровода, содержащей кластеры меди / О.В. Бойправ, А.А.А. Ахмед, Л.М. Лыньков // Доклады БГУИР. – 2015. – № 3(89). – С. 49–52.

7. Отделочные панели для создания экранированных помещений на основе наноструктурированных композиционных материалов / А.А.А. Ахмед, Н.В. Насонова, Т.А. Пулко, Л.М. Лыньков // Нанотехнологии в строительстве. – 2015. – № 5(7). – С. 43–57.

8. Исследование влияния влажности на оптические характеристики тканых материалов с наноструктурированным ферромагнитным микропроводом / А.А.А. Ахмед, Я.Т.А. Аль-Адеми, Н.В. Насонова, Т.А. Пулко, Л.М. Лыньков // Доклады БГУИР. – 2016. – № 1(95). – С. 89–94.

Статьи в сборниках материалов конференций

9. Конструктивные особенности экранов ЭМИ на основе полотен с ферромагнитными включениями / Я.Т.А. Аль-Адеми, А.А.А. Ахмед, Т.А. Пулко, Н.В. Насонова, Л.М. Лыньков // Управление информационными ресурсами: материалы X Междунар. науч.-практ. конф., Минск 2013 г.; редкол.: проф. А.В. Ивановский [и др.]. – Минск, 2013. – С. 119–120.

10. Радиопоглощающий материал на основе композиционного материала с магнитодиэлектрическими потерями / Н.В. Насонова, Я.Т.А. Аль-Адеми, А.А.А. Ахмед, Л.М. Лыньков // Технические средства защиты информации: материалы XII Белорус.-российск. науч.-техн. конф., Минск, 5–6 июня 2013 г. / БГУИР: редкол.: Л. М. Лыньков [и др.]. – Минск, 2013. – С. 71.

11. Экранирующие тканые материалы с ферромагнитным микропроводом / А.А.А. Ахмед, Я.Т.А. Аль-Адеми, Т.А. Пулко, Н.В. Насонова, Л.М. Лыньков // Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных: материалы междунар. науч.-техн. семинара, Минск, апрель–декабрь, 2013 г. / БГУИР; редкол.: М.Н. Бобов [и др.]. – Минск, 2013 г. – С. 85–89.

12. Влияние порошкообразных включений в огнестойкие покрытия на характеристики гибких экранов ЭМИ / А.А.А. Ахмед, Я.Т.А. Аль-Адеми, Т.А. Пулко, Л.М. Лыньков // Международная научно-техническая конференция, приуроченная к 50-летию МРТИ–БГУИР: материалы конф. Минск, 2014 г. / Минск, 2014 г. – С. 328–329.

13. Гибкие многослойные экранирующие конструкции для СВЧ-техники / Я.Т.А. Аль-Адеми, А.А.А. Ахмед, Т.А. Пулко, Н.В. Насонова, Л.М. Лыньков // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии: материалы 24-й Междунар. Крымской конф., Севастополь, Украина, 7–13 сентября 2014 г. / СевНТУ; редкол.: М.П. Батура [и др.]. – Севастополь, 2014. – С. 998 – 999.

14. Композиционные экранирующие электромагнитное излучение материалы с повышенной температурной стабильностью / А.А.А. Ахмед, Н.В. Насонова, И.А. Грабарь, Т.А. Пулко, Л.М. Лыньков // Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных: материалы междунар. науч.-

техн. семинара, Минск, апрель–декабрь, 2014 г. / БГУИР; редкол.: М.Н. Бобов [и др.]. – Минск, 2014 г. – С.81-84.

15. Экраны электромагнитного излучения на основе тканых и нетканых материалов / А.А.А. Ахмед, А.П. Кулаженко, В.С.Дунчик, Т.А. Пулко, Н.В. Насонова // Управление информационными ресурсами : материалы XI Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 12 декабря 2014 г. / Академия управления при Президенте Респ. Беларусь; редкол.: проф. А.В. Ивановский [и др.]. – Минск, 2014. – С. 153–154.

16. Комбинированные панели для защиты информации от утечки по техническим каналам / О.В. Бойправ, М.В. Мусави, Т.В. Борботько, А.А.А. Ахмед // Управление информационными ресурсами : материалы XI Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 12 декабря 2014 г. / Академия управления при Президенте Респ. Беларусь; редкол.: А.В. Ивановский [и др.]. – Минск, 2014. – С. 160–161.

17. Модифицирование наноструктурированных ферромагнитных волокон для создания экранов ЭМИ / Н.В. Насонова, А.А.А. Ахмед, Л.М. Лыньков, В.А. Грищенко // Волокна и волокнистые материалы специального назначения и разработки: Сб. докл. науч.-практ. семинара, Минск, 14 июля 2015 г. / Белорусский государственный концерн по нефти и химии; редкол.: проф. В.И. Мартинович [и др.]. – Минск, 2015. – С. 60–62.

Тезисы докладов

18. Радиопоглощающий материал на основе композиционного материала с магнитодиэлектрическими потерями / Н.В. Насонова, Я.Т.А. Аль-Адеми, А.А.А. Ахмед, Л.М. Лыньков // Технические средства защиты информации: материалы XII Белорус.-российск. науч.-техн. конф., Минск, 5–6 июня 2013 г. / БГУИР; редкол.: Л. М. Лыньков [и др.]. – Минск, 2013. – С. 71.

19. Ахмед, А.А.А. Эффективность экранирования композитов с магнитодиэлектрическими потерями и экранирующие конструкции на их основе / А.А.А. Ахмед, Н.В. Насонова, Л.М. Лыньков // Технические средства защиты информации: материалы XIII Белорус.-российск. науч.-техн. конф., Минск, 4–5 июня 2015 г. / БГУИР; редкол.: Л.М. Лыньков [и др.]. – Минск, 2015. – С. 60.

РЕЗЮМЕ

Ахмед Абдулбасет Араби А.

Экраны электромагнитного излучения на основе модифицированных хлопкополиэфирных тканых полотен с наноструктурированным ферромагнитным микропроводом

Ключевые слова: модифицирование, тканые полотна, ферромагнитный микропровод, экран электромагнитного излучения.

Цель работы состоит в исследовании эффективности экранов электромагнитного излучения на основе хлопкополиэфирных тканых полотен с ферромагнитным наноструктурированным микропроводом, модифицированных водными растворами солей никеля, меди, кальция, и исследовании их характеристик передачи и отражения для использования в качестве элементов электромагнитных экранов для технических средств защиты информации.

Методы исследования и аппаратура: рентгенодифракционное исследование модифицированных материалов проводили на установке ДРОН–3М с использованием CuK_α -излучений, внешний вид и состав поверхности тканых полотен с ферромагнитным наноструктурированным микропроводом – на растровом микроскопе Hitachi S4800 с приставкой для рентгеноспектрального анализа, исследование экранирующих электромагнитное излучение свойств материалов и конструкций на основе модифицированных тканых полотен с ферромагнитным наноструктурированным микропроводом в диапазоне частот 8...12 ГГц – с помощью панорамного измерителя ослабления и КСВН Я2Р–67 с ГКЧ–61, в диапазоне 0,7...17 ГГц – измерительного комплекса SNA 0,01–18, для исследования оптических свойств использовался спектр-поляриметр Гемма МС–09.

Полученные результаты и их новизна: химическое осаждение меди или никеля для модификации полотен хлопкополиэфирной ткани с ферромагнитным наноструктурированным микропроводом приводит к образованию осадков меди и соединений Mg_2Ni ; установлено, что введение воды и водных растворов хлористого кальция приводит к снижению коэффициента отражения до минус 15 дБ и приводит к негорючести органических компонентов ткани за счет образования на их поверхности силиката кальция, везувианита, пироксфероита.

Степень использования: разработанные технологические методики модифицирования текстильных материалов с ферромагнитным наноструктурированным микропроводом применяются для изготовления экранов электромагнитного излучения и изделий на их основе в ОАО «ЦНИИЛКА» (РФ), в НИЛ 5.3 НИЧ БГУИР и в учебном процессе БГУИР.

Область применения: информационная безопасность, защита организма человека от электромагнитных воздействий.

РЭЗІЮМЭ

Ахмед Абдулбасет Арабі А.

Экраны электрамагнітнага выпраменьвання на аснове мадыфікаваных хлопкапаліэфірных тканых палотнаў з нанаструктураваным ферамагнітным мікраправадам

Ключавыя словы: мадыфікаванне, тканыя палотны, ферамагнітны мікраправад, экран электрамагнітнага выпраменьвання.

Мэта працы заключаецца ў даследаванні эфектыўнасці экрану электрамагнітнага выпраменьвання на аснове хлопкапаліэфірных тканых палотнаў з нанаструктураваным ферамагнітным мікраправадам, мадыфікаваных воднымі растворамі салеў нікелю, медзі, кальцыю і даследаванні іх характарыстык перадачы і адбіцця для выкарыстання ў якасці элементаў экрану электрамагнітнага выпраменьвання для тэхнічных сродкаў абароны інфармацыі.

Метады даследавання і апаратура: рэнтгенадыфракцыйнае даследаванне мадыфікаваных матэрыялаў праводзілі на ўстаноўцы ДРОН–3М з выкарыстаннем CuK_α -выпраменьванняў, знешні від і склад паверхні тканых палотнаў з ферамагнітным нанаструктураваным мікраправадам – на растравым мікраскопе Hitachi S4800 з прыстаўкай для рэнтгенаспектральнага аналізу, даследаванне экраніруючых электрамагнітнае выпраменьванне свойстваў матэрыялаў і канструкцый на аснове мадыфікаваных тканых палотнаў з ферамагнітным нанаструктураваным мікраправадам у дыяпазоне частот 8...12 ГГц – з дапамогай панарамнага вымяральніка паслаблення і КСХН Я2Р–67 з ГКЧ–61, у дыяпазоне 0,7...17 ГГц – вымяральнага комплексу SNA 0,01–18, для даследавання аптычных свойстваў выкарыстоўваўся спектрапалярметр Гемма МС–09.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: хімічнае асаджэнне медзі ці нікелю для мадыфікацыі палотнаў хлопкапаліэфірнай тканіны з ферамагнітным нанаструктураваным мікраправадам прыводзіць да фарміравання асадкаў медзі і спалучэнняў Mg_2Ni ; устаноўлена, што ўвядзенне вады і водных раствораў хларыстага кальцыю прыводзіць да зніжэння каэфіцыента адбіцця да мінус 15 дБ і прыводзіць да негаручасці арганічных кампанентаў тканіны за кошт фарміравання на іх паверхні сілікату кальцыю, везувіаніту, піроксфераіту.

Ступень выкарыстання: распрацаваныя тэхналагічныя метадыкі мадыфікавання текстільных матэрыялаў з ферамагнітным нанаструктураваным мікраправадам выкарыстоўваюцца для вырабу экрану электрамагнітнага выпраменьвання і вырабаў на іх аснове ў ААТ «ЦНПЛКА» (РФ), у НІЛ 5.3 НІЧ БГУІР і ў адукацыйным працэсе БДУІР.

Вобласць ужывання: інфармацыйная бяспека, абарона арганізму чалавека ад электрамагнітных уздзеянняў.

SUMMARY

Ahmed Abdulbaset Arabi A.

Electromagnetic shields on the basis of modified cotton-polyester fabrics with nanostructured ferromagnetic microwire

Key words: modification, fabrics, ferromagnetic microwire, electromagnetic shield.

Goal of this work is to study the effectiveness of the electromagnetic shields, based on the cotton-polyester fabrics with nanostructured ferromagnetic microwire, modified with aqueous solutions of nickel, copper and potassium salts, and to investigate their transmission and reflection characteristics aimed at applying them as the elements of electromagnetic shields for technical facilities of information protection.

Investigation techniques and apparatus: X-ray diffraction studies were performed on setup ДРОН–3М, applying CuK_α -radiation, the appearance and surface composition of the cotton-polyester fabrics with nanostructured ferromagnetic microwire were studied on a scanning microscope Hitachi S4800, equipped with a X-ray spectrum analysis attachment; the shielding performance of the materials and structures based on the modified cotton-polyester fabrics with nanostructured ferromagnetic microwire, were studied using the panoramic attenuation and VSWR meter Я2Р–67 with ГКЧ–61 in the frequency range of 8...12 GHz and the measurement complex SNA 0,01–18 in the frequency range of 0,7...17 GHz, Optical characteristics were studied on a spectropolarimeter Гемма МС–09.

Obtained results and their novelty: modification of the cotton-polyester fabrics with nanostructured ferromagnetic microwire through the chemical deposition of copper or nickel results in copper deposition and Mg_2Ni compounds; it is shown, that modification of the cotton-polyester fabrics with nanostructured ferromagnetic microwire with water and CaCl_2 aqueous solutions results in reflection factor decrease down to minus 15 dB and causes the incombustibility of the fiber organic compounds due to calcium silicate, vesuvianite and pyroksferoite forming on their surface.

Utilization degree: the developed techniques of modification of the cotton-polyester fabrics with nanostructured ferromagnetic microwire are applied for designing electromagnetic shields and products on their basis in OAO «TSNIILKA» (Russia), in R&D Lab. 5.3 in BSUIR and in the educational process in BSUIR.

Application area: information security, human organism protection against electromagnetic impact.

Научное издание

Ахмед Абдулбасет Араби А.

**ЭКРАНЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ
МОДИФИЦИРОВАННЫХ ХЛОПКОПОЛИЭФИРНЫХ ТКАНЫХ
ПОЛОТЕН С НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫМ ФЕРРОМАГНИТНЫМ
МИКРОПРОВОДОМ**

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 60x84 ¹ / ₁₆ .	Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс»
Отпечатано на ризографе	Усл.печ.л. . Уч.-изд.л. .	Тираж . 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
ЛИ №02330/264 от 14.04.2014.
220013, Минск, П. Бровка, 6.