

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»

УДК 621.37, 537.874.7

МУХАМЕД
Альхамруни Аля Абдалла

**ВОДОСОДЕРЖАЩИЕ
НАНОКОМПОЗИТНЫЕ ГИБКИЕ ЭКРАНЫ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
ДЛЯ СВЧ-ДИАПАЗОНА**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.16.08 – Нанотехнологии и наноматериалы

Минск 2014

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

Научный руководитель

Позняк Александр Анатольевич,
канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент
кафедры химии учреждения образо-
вания «Белорусский государственный
университет информатики и ра-
диоэлектроники»

Официальные оппоненты:

Грабчиков Сергей Степанович,
д-р физ.-мат. наук, главный науч-
ный сотрудник ГО «Научно-
практический центр Национальной
академии наук Беларуси по мате-
риаловедению»;

Казека Александр Анатольевич,
канд. техн. наук, начальник отдела
студенческой науки и магистратуры
учреждения образования «Белорус-
ский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Опонирующая организация

Учреждение образования «Полоц-
кий государственный университет»

Защита состоится «13» марта 2014 г. в 14.00 на заседании совета по защите дис-
сертаций Д 02.15.07 при учреждении образования «Белорусский государственный
университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, Минск,
ул. П. Бровки, 6, корп. 1, ауд. 232, тел. 293-89-89, e-mail: dissovet@bsuir.by.

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Неизбежность воздействия электромагнитного излучения (ЭМИ) на население и окружающую живую природу стало данью современному техническому прогрессу и все более широкому применению телевидения и радиовещания, радиосвязи и радиолокации, использованию сверхвысокочастотных (СВЧ) излучающих приборов и технологий и т. п. В результате жизнедеятельности человечества уровень ЭМИ возрастает на несколько порядков по сравнению с естественным фоном. Повышенные уровни электромагнитного поля усложняют функционирование маломощного высокоточного измерительного оборудования, обостряют проблемы электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств и защиты информации, оказывают отрицательное влияние на организм человека и биологические объекты.

Экранирование – наиболее эффективный способ защиты. Под экранированием в общем случае понимается как защита объектов от воздействия внешних полей, так и локализация излучения каких-либо средств, препятствующая проявлению этих излучений в окружающей среде. Особенно актуальна проблема создания гибких, мобильных, воздухопроницаемых, технологичных и дешевых материалов, обеспечивающих достаточную степень подавления ЭМИ в широком диапазоне частот.

Гибкие электромагнитные экраны находят широкое применение не только для «классических» целей подавления нежелательных излучений электронной техники, а также актуальны и в других областях, таких, как защита живых организмов от вредного воздействия ЭМИ, создание одежды и накидок специального назначения, подавление электромагнитного канала утечки информации, снижение радиолокационной заметности объектов и защита устройств обработки информации от электромагнитного воздействия.

Одним из перспективных направлений является создание экранов на основе гибких радиопоглощающих материалов (РПМ) с различными наполнителями. В настоящий момент ясно, что высокими характеристиками радиопоглощения могут обладать только композитные материалы. Наиболее перспективным направлением является создание именно нанокompозитных материалов, которым можно придать комплекс уникальных свойств. На настоящий момент крайне мало разработано тонких РПМ и экранов ЭМИ, обладающих хорошей гибкостью, приемлемыми электромагнитными характеристиками при небольшом весе и толщине. Все вышеизложенное определило направление диссертационной работы, задачей которой является получение и анализ новых экспериментальных данных о влиянии состава наноструктурированных наполнителей гибких экранов на их экранирующие характеристики в СВЧ-диапазоне.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами и темами

Тема диссертационной работы утверждена на заседании Совета учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» (протокол № 10 от 22 мая 2009 г.) и соответствует разделам 3 «Физические, химические, биологические и генетические методы и технологии получения новых веществ, материалов, модифицированных биологических форм, наноматериалы и нанотехнологии», и 7 «Конкурентоспособные изделия радио-, микро-, нано-, СВЧ- и силовой электроники, микросенсоры, лазерно-оптической техники, разработка новых видов приборов, в том числе для научных целей» приоритетных направлений фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2006 – 2010 гг. (Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 17 мая 2005 г. № 512), а также разделам 2 «Супрамолекулярная химия, химический синтез новых веществ и материалов с заданной структурой, функциональными и физико-химическими свойствами. Новые химические продукты и технологии» и 8 «Новые материалы для промышленности, медицины и строительства, наукоемкие технологии их производства. Металлургические и литейные процессы» приоритетных направлений научных исследований Республики Беларусь на 2011 – 2015 гг. (Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 19 апреля 2010 г. № 585).

Диссертационная работа выполнена в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» в рамках инициативных исследований во время обучения в аспирантуре.

Цель и задачи исследования

Целью работы является установление взаимосвязи между составом наполнителей пористых матриц из машинно-вязаного полиакрилонитрильного (нитронового) полотна высокой плотности вязки и их свойствами в радиочастотном диапазоне для получения новых нанокompозитных экранов электромагнитного излучения, в том числе работоспособных при пониженных температурах.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- провести сравнительный анализ современных методов создания радиозащитных и радиопоглощающих материалов различного назначения и перспектив использования наноматериалов при их разработке;
- разработать методики приготовления нанокompозитных наполнителей, их введения в текстильную матрицу и стабилизации;

– провести исследования эффективности экспериментальных образцов предлагаемых нанокompозитных материалов;

– провести сравнительный анализ эффективности экспериментальных образцов радиозащитных покрытий между собой и с существующими аналогами.

В качестве *объекта исследования* выбраны гибкие композитные экраны электромагнитного излучения для сверхвысокочастотного диапазона, создаваемые путем введения наноструктурированных водосодержащих наполнителей в полиакрилонитрильное (нитроновое) машинно-вязаное полотно высокой плотности вязки. *Предмет исследования* – радиозащитные свойства (коэффициенты передачи S_{21} и отражения S_{11}) указанных нанокompозитных экранов в сверхвысокочастотном диапазоне в зависимости от состава наполнителей.

Положения, выносимые на защиту

1. Введение в полиакрилонитрильное полотно высокой плотности вязки (далее текстильное полотно) в качестве наполнителя водного раствора гексацианоферрата (III) калия в концентрации 1 М, обеспечивает согласование волновых сопротивлений такого композиционного материала и воздуха в диапазоне частот электромагнитного излучения 8 – 11 ГГц за счет поляризации молекул воды ионами указанной соли, располагающимися в данной структуре с шагом порядка 1 нм, уменьшения диэлектрической проницаемости материала и роста потерь на проводимость, что приводит к снижению коэффициента передачи электромагнитного излучения (S_{21}) на 4 дБ, позволяя использовать его в качестве эффективного гибкого экрана электромагнитного излучения.

2. Введение в текстильное полотно в качестве наполнителя гидрогеля поливинилового спирта с добавлением хлорида калия в концентрации 1 М, улучшает по сравнению с дистиллированной водой согласование волновых сопротивлений такого композиционного материала и воздуха в диапазоне частот электромагнитного излучения 8 – 12 ГГц, за счет образования наноразмерной сетчатой структуры из макромолекул полимера и ионов соли, приводящего к снижению на 4 дБ коэффициент передачи электромагнитного излучения при сравнимом коэффициенте его отражения, что объясняется совместным поляризующим воздействием макромолекул полимера и ионов соли на структуру воды и снижением подвижности ионов соли, а ион-дипольное взаимодействие между ионами соли и ОН-группами макромолекул поливинилового спирта исключает переход гидрогеля в жидкое состояние вплоть до температуры деструкции органических компонентов таких экранов электромагнитного излучения, что обеспечивает их работоспособность при температурах до 100 °С.

3. Применение гидрогеля поливинилового спирта в составе гелево-порошковых наполнителей гибких нанокompозитных экранов электромагнитного излучения на текстильной основе обеспечивает их временную стабильность в сочетании с высоким водосодержанием путём предотвращения седиментации порошкового компонента.

4. Добавление наноструктурированного углеродсодержащего минерала – шунгита в наполнитель текстильного полотна из гидрогеля поливинилового спирта и хлорида калия обеспечивает работоспособность создаваемых из них экранов электромагнитного излучения при температурах, сниженных до минус 15 °С за счет дополнительной поляризации молекул воды и модификации совокупной структуры гидрогеля в них полярной составляющей шунгита.

5. Двухслойные экраны электромагнитного излучения на основе текстильного полотна, состоящие из ближнего к источнику излучения слоя с гелево-порошковым наполнителем и располагающегося за ним слоя с шунгитсодержащим наполнителем, имеют в диапазоне частот электромагнитного излучения 8 – 12 ГГц коэффициенты передачи электромагнитного излучения на 12 – 14 дБ ниже по сравнению с однослойными экранами того же состава, благодаря увеличению отраженной доли электромагнитного излучения на границе раздела слоев при таком сочетании материалов.

Личный вклад соискателя

Содержание диссертации отражает личный вклад автора. Он заключается в проведении теоретического анализа возможных каналов утечки информации, методов и средств предотвращения утечек по электромагнитным каналам, а также современного уровня разработки радиозащитных материалов. Соискатель лично подготавливал и проводил эксперименты, как в части изготовления образцов, так и измерения их характеристик, а также осуществлял математическую и графическую обработку результатов эксперимента. Планирование экспериментов и интерпретация их результатов были осуществлены совместно с научным руководителем, канд. физ.-мат. наук, доц. А.А. Позняком.

Апробация результатов диссертации

Результаты исследований по теме диссертации были доложены и обсуждены на научно-технических семинарах, симпозиумах и конференциях различного уровня: 14-й Международной научно-технической конференции «Современные средства связи» (Минск, Беларусь), 2009 г.; 18-й Республиканской научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов по физике конденсированного состояния (ФКС-ХVIII) (с приглашением участников из других

стран), (г. Гродно, Беларусь), 6-й Международной молодежной научно-технической конференции «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ-2010» (Севастополь, Крым, Украина), 8-й Белорусско-российской научно-технической конференции «Технические средства защиты информации» (г. Браслав, Беларусь), 20-й международной Крымской конференции «СВЧ-техника и коммуникационные технологии» (Севастополь, Крым, Украина), 15-й Международной научно-технической конференции «Современные средства связи» (Минск, Беларусь), 2010 г.; 7-й Международной молодежной научно-технической конференции «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ-2011» (Севастополь, Крым, Украина), 47-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» «Моделирование, компьютерное проектирование и технология производства электронных средств» (Минск, Беларусь), 10-й Белорусско-российской научно-технической конференции «Технические средства защиты информации» (Минск, Беларусь), 2011 г.; 8-й Международной молодежной научно-технической конференции «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ-2012» (Севастополь, Крым, Украина), 47-й и 48-й научных конференциях аспирантов, магистрантов и студентов учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» «Моделирование, компьютерное проектирование и технология производства электронных средств» (Минск, Беларусь), 2011 и 2012 г.

Опубликованность результатов диссертации

По материалам диссертации опубликовано 17 научных работ. В их числе 5 статей в рецензируемых научных журналах, 9 статей в сборниках материалов научных конференций, 3 тезисов докладов на научных конференциях.

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

Структура и объем диссертации

Общий объем работы – 145 страниц. Она включает 79 страниц машинописного текста, 79 рисунков на 35 страницах, 17 таблиц на 6 страницах, библиографию из 221 наименования использованных источников на 20 страницах и 17 наименований публикаций соискателя на 3 страницах, и приложения на 2 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении и общей характеристике работы определены основные направления исследований, обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи работы, изложены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе на основе анализа литературных данных показано, что для экранирования применяются различные радиопоглощающие и радиотражающие материалы. Однако в некоторых случаях экранирующие конструкции на основе РПМ могут создавать отраженные волны такой силы, что те могут усилить облучение. К тому же, при использовании металлического экранирования внутри помещений происходит снижение естественного магнитного поля Земли. Более удобно использовать для экранирования РПМ. Рассмотрены материалы и конструкции экранов для различных частотных диапазонов ЭМИ.

Для многих стационарных и мобильных источников ЭМИ необходимы защитные экраны с невысокими массогабаритными характеристиками, обладающие гибкостью, экологичностью, универсальностью и возможностью быстрого развертывания. Проведенный анализ показал перспективность использования для таких целей композитных материалов; в том числе с применением в качестве основы для создания композитов полимерного волокна; часто используют дисперсные (металлы, их оксиды), в том числе и углеродсодержащие наполнители, в том числе и наноструктурированные, например шунгит, углеродные нанотрубки, сажа, поскольку они широко используются не только в архитектуре и строительстве, но и в качестве защитных материалов для предотвращения утечки информации по электромагнитным каналам, в том числе радиочастотным. В силу уникальных радиопоглощающих свойств воды, также используемой в различных устройствах, подавляющих ЭМИ, перспективной является разработка композитных РПМ на водной основе.

Во второй главе обоснован подбор материалов для создания водосодержащих нанокompозитных радиоэкранирующих материалов, кратко охарактеризованы их свойства, описаны методики приготовления 0,1 М растворов кислот (сульфосалициловой, щавелевой, малоновой, *d*-винной, лимонной и ортоборной), 0,1 и 1 М растворов солей (хлоридов натрия, калия и меди (II); гексацианоферрата (III) калия; сульфатов меди, никеля, марганца, цинка, 0,1 и 0,4 М растворов бихромата калия для использования в качестве наполнителей полиакрилонитрильного (ПАН) машинно-вязаного полотна толщиной 2 мм, а также комбинированных солевых наполнителей (смесей 1 М растворов солей KCl и NaCl, NiSO₄ и MnSO₄, K₃[Fe(CN)₆] и KCl, CuSO₄ и NiSO₄, смесь 0,4 М раствора K₂Cr₂O₇ и 1 М раствора KCl); методики приготовления гелевых и гелево-порошковых наполнителей текстильного полотна. В качестве гелеобразующих агентов были опробованы поливиниловый спирт

(ПВС) марки 16/1, желатин марки «Фото», крахмал картофельный, клей обойный промышленного производства и метасиликата натрия пентагидрат ($\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$). Кратко описана методика рентгеноструктурных и рентгенофазовых исследований порошков оксидов переходных металлов (Cu_2O , ZnO , Fe_2O_3 , TiO_2 , ZrO_2) и наноструктурированных углеродсодержащих материалов природного происхождения – активированного угля и минерала шунгита. Также описаны методики подготовки высушенных и охлажденных до 258 К образцов композитных экранов и измерений их экранирующих характеристик в СВЧ-диапазонах 8 – 12 ГГц и 27 – 37 ГГц.

В третьей главе приведено описание исследований свойств ПАН текстильных полотен, наполненных растворами кислот, солей и гелями. В результате выполнения измерений и анализа их результатов можно утверждать следующее:

– разбавленные (0,1 М) растворы кислот и солей по своим свойствам слабо отличаются от дистиллированной воды; т. е. на подавление ЭМИ большое влияние оказывает растворитель, который обладает высоким поглощением ЭМИ, а некоторое увеличение отражения логично объясняется возрастанием электропроводности за счет появления ионов H^+ , обладающих высокой подвижностью;

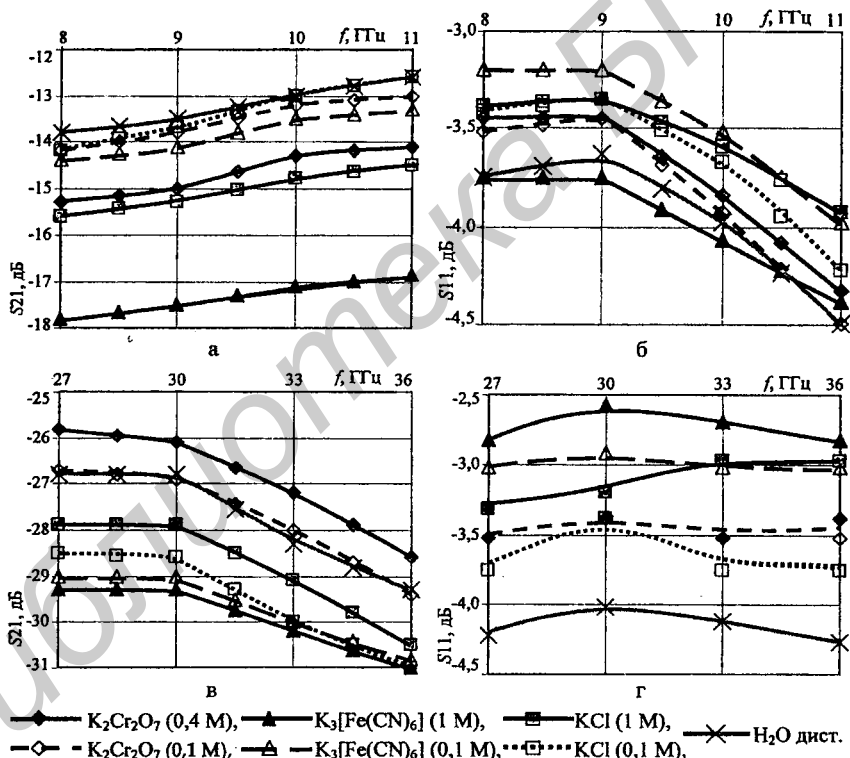
– гибкие экраны с пропитками из различных индивидуальных солевых растворов в диапазоне частот 27 – 37 ГГц имеют, как правило, меньший коэффициент передачи ЭМИ, чем гибкие экраны с пропитками на основе их комбинаций.

Наиболее эффективными РПМ из числа исследованных являются экраны с 1 М раствором гексацианоферрата (III) калия в качестве наполнителя: коэффициент передачи до минус 17,8 дБ при коэффициенте отражения до минус 4,4 дБ в диапазоне 8 – 11 ГГц (рисунок 1), неплохими радиопоглощающими свойствами из числа исследованных растворов солей в диапазоне частот 8 – 12 ГГц является 1 М раствор ZnSO_4 (коэффициент пропускания до минус 15 дБ при коэффициенте отражения до минус 4,6 дБ). На мой взгляд, это связано с тем, что при электролитической диссоциации этой комплексной соли (тип 1-3), из одного ее моля образуется четыре моля ионов (три моля катионов калия и один – трехзарядных гексацианоферрат (III)-анионов – это больше, чем при диссоциации любой другой исследованной в рамках настоящей диссертации соли), которые обуславливают наиболее высокую концентрацию носителей заряда, поляризующих молекулы воды и расположенных на незначительном (заведомо менее 1 нм) удалении друг от друга в квазипериодической решетке, характеризующейся ближним порядком; либо (для случая ZnSO_4) существенной поляризующей способностью двухзарядных ионов электролитов типа 2-2. Это

имеет следствием, с одной стороны, согласование волновых сопротивлений воздуха и экранирующего материала за счёт снижения диэлектрической проницаемости последнего и, с другой стороны, значительные потери энергии ЭМИ при его прохождении сквозь образец за счёт токов смещения (т. е. существенного возрастания ϵ''). Возможно также, что, благодаря парамагнитным свойствам иона $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$, происходит дополнительное поглощение энергии магнитной составляющей ЭМВ за счёт переориентации их магнитных моментов в переменном магнитном поле.

В диапазоне частот 27 – 36 ГГц наилучшим радиопоглотителем является образец, пропитанный дистиллированной водой, коэффициент передачи до минус 29,3 дБ при коэффициенте отражения до минус 4,3 дБ.

Что касается радиоотражающих свойств, связанных с возросшей прово-



а, в – коэффициенты передачи; б, г – коэффициенты отражения
 Рисунок 1 – Зависимость коэффициентов передачи (а, в) и отражения (б, г) от частоты для образцов с растворами солей калия

димостью образцов, то наименьший коэффициент передачи в интервале частот 8 – 12 ГГц имеет текстильное полотно, содержащее в качестве пропитки 1 М растворы CuCl_2 и KCl (коэффициенты передачи практически одинаковы и достигают значений 15,9 дБ), а в диапазоне частот 27 – 37 ГГц – пропитанное 0,1 М раствором NiSO_4 с коэффициентом передачи до минус 33 дБ. Хорошие характеристики показал также образец с пропиткой 1 М раствором гексацианоферрата (III) калия: коэффициент передачи до минус 17,8 дБ в диапазоне 8 – 11 ГГц, до минус 31 дБ в диапазоне 27 – 36 ГГц (рисунок 1).

Исследование текстильных полотен, наполненных гелями различной природы, показало, что пропитка гелями не приводит к улучшению радиозащитных свойств таких экранов в диапазоне 8 – 12 ГГц (рисунок 2). Сравнение экранирующих характеристик текстильных полотен, наполненных гидрогелем ПВС, гидрогелем ПВС с добавкой KCl , дистиллированной водой и 1 М раствором KCl , показывает, что введение в раствор KCl в любом случае приводит к снижению коэффициентов передачи, а в случае экспериментов с гелем ПВС – и к снижению коэффициента отражения ЭМИ до уровня, сравнимого с дистиллированной водой, что свидетельствует об увеличении поглощения энергии электромагнитной волны. Как я полагаю, введение примеси сильного электролита типа 1-1, полностью диссоциированного на ионы, расположенные при данной концентрации в объеме с шагом порядка 1 нм, но имеющие в наноструктурированной матрице гидрогеля ПВС, образованной за счёт водородных связей,

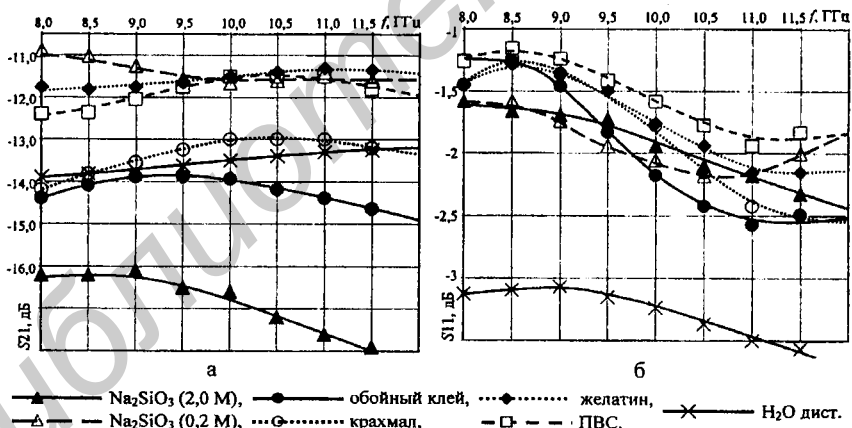
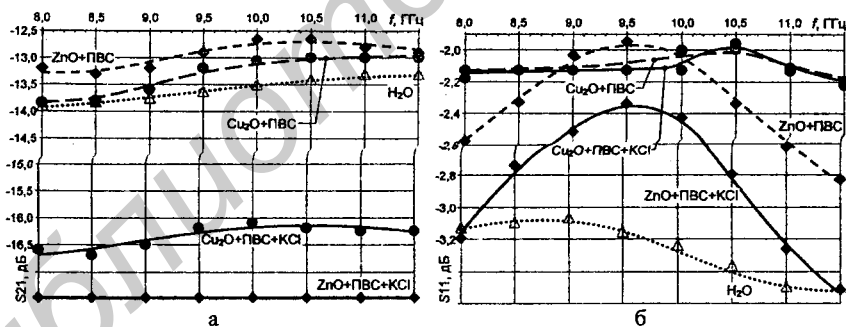


Рисунок 2 – Частотные зависимости коэффициентов передачи S_{21} , дБ и отражения S_{11} , дБ текстильных матриц, пропитанных различными гелями

весьма ограниченную подвижность, увеличивает количество частиц (без существенного увеличения электропроводности), способных колебаться под действием переменного электрического поля, за счет чего происходит поглощение энергии ЭМИ и ее диссипация. Кроме того, электрическое поле ионов оказывает также поляризующее воздействие на наноразмерную структуру гидрогеля в целом, в том числе и путем дополнительного связывания макромолекул за счет ион-дипольного взаимодействия с ОН-группами ПВС, что приводит к тому, что обратный переход гидрогеля в жидкое состояние при его нагревании становится невозможным вплоть до температуры деструкции органических компонентов таких экранов электромагнитного излучения, что обеспечивает их работоспособность при температурах до 100 °С, а следовательно, и возможность экранирования ЭМИ высокой мощности.

В четвертой главе изложены результаты исследования радиоэкранирующих характеристик одно- и двухслойных композитных экранов ЭМИ на текстильной основе с гелево-порошковыми наполнителями в диапазоне 8 – 12 ГГц. Исследования показали, что использование в качестве наполнителей текстильных полотен суспензий мелкодисперсных порошков оксидов металлов и наноструктурированных углеродсодержащих материалов – активированного угля и шунгита, стабилизированных в геле ПВС с добавкой хлорида калия, позволило существенно улучшить характеристики влагосодержащих нанокompозитных экранов ЭМИ (рисунок 3) и создать РПМ, существенно превосходящие аналоги, изготовленные с применением, например, металлизированных нитей. Следует отметить, что применение именно наноструктурированного гидрогеля



а – коэффициенты передачи; б – коэффициенты отражения,
наполнители: Cu_2O , ZnO в геле ПВС

Рисунок 3 – Зависимость коэффициентов передачи S_{21} и отражения S_{11} , дБ однослойных текстильных матриц с металлооксидными наполнителями от частоты f , ГГц

ПВС позволило решить сразу две задачи: обеспечить практически неограниченную временную стабильность экранов ЭМИ путем гарантированного исключения седиментации порошкового компонента при одновременном обеспечении их высокого влагосодержания.

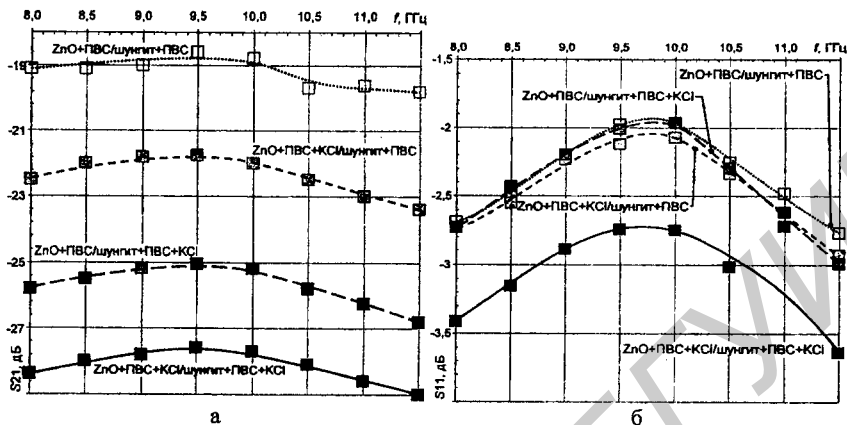
Установлено, что в зависимости от природы наполнителя и радиоэкранирующих характеристик исследованные экраны ЭМИ можно разделить на две основные группы – РПМ (материалы с металлооксидными наполнителями) и радиоотражающие (материалы с наноструктурированными углеродсодержащими наполнителями), что вполне объяснимо, если принять во внимание проводимость аморфного углерода.

Очевидным недостатком водосодержащих экранов ЭМИ является зависимость их характеристик от температуры, однако ее удалось снизить за счет совместного применения наноструктурированных наполнителей. При температуре 258 К были исследованы радиоэкранирующие свойства текстильных полотен со следующими наполнителями: $\text{H}_2\text{O}_{\text{дист}}$, 1 М КСl, ПВС, ПВС+КСl, ПВС+TiO₂, ПВС+КСl+TiO₂, ПВС+шунгит, ПВС+КСl+шунгит, ПВС+С_{акт}, ПВС+КСl+С_{акт} и была рассчитана разность между коэффициентами передачи ΔS_{21} и отражения ΔS_{11} этих материалов в стандартных условиях и при пониженной температуре. Исследования показали, во-первых, что во всех без исключения случаях замораживание образцов приводит к увеличению их коэффициента передачи и уменьшению коэффициента отражения в диапазоне 8 – 12 ГГц. Как и следовало ожидать, коэффициент передачи ЭМИ образцом ткани, пропитанным дистиллированной водой, существенно увеличивается при замораживании (в среднем на 12 дБ). Изменение при отрицательной температуре экранирующих характеристик экрана ЭМИ, содержащего смесь ПВС+КСl, ожидаемо меньше (ΔS_{21} менее 11 дБ), чем для образцов с чистой водой, гелем ПВС и раствором КСl. Несколько неожиданным является тот факт, что образцы, пропитанные гелем ПВС и раствором КСl, обладают близкими значениями ΔS_{21} . Это можно объяснить совместным воздействием наноструктурирующих добавок (ПВС+КСl), взаимно усиливающих свое влияние. Коэффициент отражения образцов с водой и ПВС в качестве пропиток после замораживания не поддается измерению вследствие малости значений, а ΔS_{11} образца с ПВС+КСl составляет около 4 дБ. Любопытно отметить, что у образца, наполненного раствором КСl, при существенном возрастании коэффициента передачи, коэффициент отражения уменьшился лишь на 1,5 дБ. Вероятно, это происходит по причине разделения пропитывающего раствора на две фазы – фазу льда со значением относительной диэлектрической проницаемости существенно меньшим, чем у воды, и фазу раствора КСl еще большей концентрации и еще более сниженным значением ϵ по сравнению с исходным 1 М раствором, но обладающей высокой элек-

тропроводностью и эффективно отражающей СВЧ-излучение. Для всех углеродсодержащих наполнителей характерна слабые изменения коэффициента отражения (0,5 – 1,5 дБ) при замораживании, поскольку его обуславливают наличие проводящего углерода. Если принять во внимание экспериментально подтвержденный вывод об определяющем влиянии воды на ослабление ЭМИ подобными композитными материалами, то становится ясной причина существенного различия коэффициентов передачи этих образцов с добавкой хлорида калия и без нее после их охлаждения. В образцах без добавки сильного электролита происходит кристаллизация воды в полостях матрицы ПВС и образование композитного криогеля, как следствие – существенное снижение значения ϵ , и рост S_{21} . Образец с порошком шунгита, распределенным в геле ПВС+КСl, характеризуется минимальным изменением ΔS_{21} (ΔS_{21} всего около 4,5 дБ), аналогичный наполнитель с $S_{\text{вкт}}$ характеризуется значением ΔS_{21} около 8,5 дБ; разница, на наш взгляд, объясняется плохой адсорбцией полярного раствора поверхностью угля и намного лучшей – шунгитом, содержащим значительное количество полярных соединений в своем составе. Таким образом, развитая наноструктурированная поверхность шунгита существенно лучше модифицирует и стабилизирует структуру жидкой фазы, предупреждая замерзание существенной ее части как за счет дополнительной поляризации молекул воды, так и в результате дополнительного структурирования гидрогеля из-за взаимодействия ОН-групп ПВС с полярной составляющей шунгита. Таким образом, оптимальными параметрами при понижении температуры до 298 К из числа исследованных образцов водосодержащих композитных экранов ЭМИ на текстильной основе обладают материалы с наполнителем, содержащим порошок природного наноструктурированного материала – шунгита, распределённого в геле ПВС с добавкой хлорида калия.

Композитный экран, содержащий порошок TiO_2 , распределенный в смеси ПВС+КСl, изменил при замораживании свои свойства подобно текстильной матрице, содержащей наполнитель ПВС+КСl. Это обусловлено тем, что грубодисперсный порошок диоксида титана с относительно невысокой удельной площадью поверхности не меняет в существенной мере структуры и свойств исходной гелевой матрицы и не является проводящим материалом, в результате ΔS_{21} такого экрана даже выше, чем у композита с наполнителем $S_{\text{вкт}}$ +ПВС+КСl.

Применением двухслойных экранов можно добиться управляемого и воспроизводимого изменения их экранирующих и радиопоглощающих характеристик. При этом оптимальной явилась такая ориентация слоев, когда углеродсодержащий слой расположен вторым по отношению к направлению распространения ЭМИ, а металлооксидный – первым (рисунки 4 и 5). Наи-



а – коэффициенты передачи; б – коэффициенты отражения
 Рисунок 4 – Зависимость коэффициента передачи S_{21} и отражения S_{11} , дБ двухслойных текстильных матриц с гелево-порошковыми наполнителями, ориентированных оксидсодержащим слоем к источнику ЭМИ, от частоты f , ГГц

лучшими характеристиками в частотном диапазоне 8 – 12 ГГц в условиях, близких к стандартным, обладают экраны, содержащие во втором (отражающем) слое активный уголь.

На примере добавки КСI в водосодержащие гелево-порошковые композитные экраны ЭМИ на текстильной основе показана возможность увеличения их радиопоглощающей способности путем добавки сильного электролита. Добавка хлорида калия в концентрации 1 М в углеродсодержащий (отражающий) слой приводит к заметному снижению коэффициентов передачи и отражения двухслойных экранов, введение КСI в металлооксидный (поглощающий слой) также улучшает радиопоглощающие характеристики экранов ЭМИ (рисунки 3, 4), что, как и в случае добавления хлорида калия в гидрогель ПВС без порошковых добавок, обусловлено модификацией структуры и изменением свойств наноструктурированного гидрогеля ионами электролита.

Свойства образцов радиозащищающих и радиопоглощающих материалов на текстильной основе с гелевыми пропитками и гелево-порошковыми наполнителями при высыхании не сохраняются, что обусловлено определяющим влиянием воды на подавление ЭМИ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Экспериментальные исследования отражения и пропускания электромагнитного излучения водосодержащими композитными материалами на основе полиакрилонитрильного полотна высокой плотности вязки (далее текстильное полотно) с наполнителями, представляющими собой водные 0,1 и 1 М растворы солей типов 1-1, 1-2, 2-1, 2-2 и 1-3 с различными магнитными параметрами, образующими наноструктурированную квазипериодическую систему из ионов соли, расположенных на расстоянии не более 1 нм, показали, что свойства таких радиозащитных материалов зависят от природы соли, ее концентрации и частоты электромагнитного излучения. Введение в текстильное полотно вместо дистиллированной воды растворов солей в концентрации 1 М всегда приводит к уменьшению коэффициента передачи S_{12} , и, как правило, одновременно увеличению коэффициента отражения S_{11} , что объясняется возрастанием электропроводности наполнителя. Использование в качестве наполнителя текстильного полотна водного раствора гексацианоферрата (III) калия в концентрации 1 М обеспечивает согласование волновых сопротивлений такого композиционного материала и воздуха в диапазоне частот электромагнитного излучения 8–11 ГГц за счет поляризации молекул воды ионами указанной соли, уменьшения диэлектрической проницаемости материала и роста потерь на проводимость, что приводит к снижению коэффициента передачи электромагнитного излучения (S_{21}) на 4 дБ, позволяя использовать его в качестве эффективного гибкого экрана электромагнитного излучения. Свойства герметизированных текстильных полотен, содержащих в качестве наполнителя 0,1 М растворы солей, отличаются от пропитанных дистиллированной водой несущественно, что объясняется незначительной модификацией структуры воды, и в основном определяются увеличением проводимости таких наполнителей в сравнении с дистиллированной водой [3, 4].

2. Исследовано отражение и пропускание электромагнитного излучения водосодержащими композитными материалами на текстильной основе с наполнителями, представляющими собой водные 0,1 М растворы слабых кислот, и установлено, что свойства таких экранов зависят от частотного диапазона и, в меньшей степени, от природы кислоты. Свойства таких материалов несущественно отличаются от таких же, но пропитанных дистиллированной водой, что объясняется незначительной модификацией структуры воды ионами, распределенными в ней, и в основном определяются увеличением проводимости таких кислотосодержащих наполнителей в сравнении с дистиллированной водой [3].

3. Добавление хлорида калия в наноструктурированный гидрогель поливинилового спирта, вводимый в текстильное полотно в качестве наполнителя, предотвращает переход гидрогеля в жидкое состояние вплоть до температуры деструкции, что обеспечивает стабильность и работоспособность наноструктурированного материала при температурах до 100 °С. Такая стабильность достигается за счёт ион-дипольного взаимодействия между ионами соли и ОН-группами макромолекул поливинилового спирта. Это приводит к улучшению по сравнению с наполнением дистиллированной водой согласования волновых сопротивлений композитного материала и воздуха в диапазоне частот электромагнитного излучения 8 – 12 ГГц и дает снижение на 4 дБ коэффициента передачи электромагнитного излучения. Данный эффект объясняется поляризующим воздействием макромолекул полимера, образующих трёхмерную сетчатую наноструктуру с размером структурных элементов от единиц до десятков нанометров, а также находящихся в ней гидратированных ионов соли, расположенных на расстоянии порядка 1 нм, на структуру воды, а также снижением подвижности ионов соли по сравнению с водным раствором. Использование в качестве наполнителей других органических и неорганических гелей не привело к улучшению характеристик отражения или поглощения электромагнитной энергии в сверхвысокочастотном диапазоне в сравнении с полотнами, пропитанными дистиллированной водой [1].

4. Применение гидрогеля поливинилового спирта в составе гелево-порошковых наполнителей гибких нанокомпозитных экранов электромагнитного излучения на текстильной основе позволяет решить проблему их временной стабильности путём предотвращения седиментации порошкового компонента при сохранении высокого водосодержания. Исследование однослойных экранов электромагнитного излучения в сверхвысокочастотном диапазоне с наполнителями, представляющими собой суспензии порошков оксидов переходных металлов и наноструктурированного сырья природного происхождения – активированного угля и шунгита, показали, что экраны с металлооксидными наполнителями обладают в основном радиопоглощающими, а экраны с углеродсодержащими – радиоотражающими свойствами, что объясняется прежде всего различием в характере и величине электропроводности этих наполнителей. Высыхание (обезвоживание) образцов приводит к полной потере радиозранирующих и радиопоглощающих свойств, что свидетельствует в пользу определяющей роли воды в поглощении энергии электромагнитного излучения [1, 2, 7, 9, 15].

5. Применение геля поливинилового спирта с добавкой хлорида калия в сочетании с природным наноструктурированным углеродсодержащим минералом – шунгитом, позволяет снизить температурный предел эксплуатации водосодержащих композитных экранов электромагнитного излучения на текстильной основе

до 258 К, обеспечивая увеличение коэффициента передачи не более, чем на 5 дБ и уменьшение коэффициента отражения не более, чем на 0,5 дБ по сравнению с 298 К, что обусловлено модификацией совокупной наноструктуры гидрогеля в данном наполнителе полярной составляющей шунгита [5].

6. Показано, что двухслойные экраны электромагнитного излучения на основе текстильного полотна с гелево-порошковым наполнителями, состоящие из ближнего к источнику излучения слоя с оксидсодержащим наполнителем и располагающегося за ним слоя с шунгитсодержащим наполнителем, имеют коэффициенты передачи электромагнитного излучения на 12 – 14 дБ ниже по сравнению с аналогичными однослойными экранами, благодаря увеличению отраженной доли электромагнитного излучения на границе раздела слоев при таком сочетании материалов [1 – 3, 6, 8 – 17].

Рекомендации по практическому использованию результатов

1. При выполнении исследований в рамках настоящей диссертационной работы удалось достичь высоких показателей экранирования электромагнитного излучения гибкими и тонкими материалами, которые по сравнению с аналогичными по толщине экранами из трикотажных полотен с металлическими нитями имеют преимущество в поглощении электромагнитного излучения, меньшую удельную массу, а также значительно проще и дешевле в изготовлении, что обуславливает технико-экономическую эффективность их внедрения [3 – 5].

2. Полученные данные необходимы для дальнейших исследований в области создания радиозащитных и радиопоглощающих материалов. Также эти результаты могут использоваться для изготовления гибких электромагнитных экранов, применяемых в различных сферах [3]:

- в военной области для снижения радиолокационной заметности объектов и повышения их помехозащищенности;
- в области радиозащиты живых организмов от вредного воздействия электромагнитного излучения путем создания специальной одежды, накидок, других средств индивидуальной защиты;
- в области защиты информации для подавления электромагнитного канала утечки информации;
- для защиты устройств обработки и хранения информации от воздействия электромагнитного излучения;
- в измерительной и контрольной аппаратуре;
- в других областях науки и техники.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых научных журналах

1. Экранирующие характеристики текстильных капиллярно-пористых матриц с влагосодержащими наполнителями / С.В. Головатая, Н.В. Ковальчук, Н.В. Насонова, А.А. Мухамед, А.А. Позняк // Доклады БГУИР. – 2010. – № 8(54). – С. 71–77.

2. Экранирующие характеристики текстильных растворосодержащих матриц / Н.В. Ковальчук, Н.В. Насонова, А.А. Мухамед, А.А. Позняк // Доклады БГУИР. – 2011. – № 8(62). – С. 27–33.

3. Исследование влияния природы и концентрации различных наполнителей гибких экранов электромагнитного излучения на их экранирующие характеристики в СВЧ диапазоне: I. Растворы кислот и солей калия / С.В. Галушка, А.А. Мухамед, Н.В. Насонова, А.А. Позняк // Доклады БГУИР. – 2012. – № 5(67). – С. 110–115.

4. Исследование влияния природы и концентрации различных наполнителей гибких экранов электромагнитного излучения на их экранирующие характеристики в СВЧ диапазоне: II. Растворы хлоридов, сульфатов и комбинированные растворы солей / С.В. Галушка, А.А. Мухамед, Н.В. Насонова, А.А. Позняк // Доклады БГУИР. – 2012. – № 8(70). – С. 50–56.

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

Статьи в сборниках материалов научных конференций

6. Гибкие двухслойные экраны электромагнитного излучения на текстильной основе с наполнителем на основе оксида цинка / С.В. Головатая, Н.В. Ковальчук, Н.В. Колбун, А.А. Мухамед, А.А. Позняк // Современные средства связи: материалы 15-й Междунар. науч.-техн. конф., Минск, Респ. Беларусь, 29 сент. – 01 окт. 2009 г. / редкол.: М.А. Баркун [и др.]. – Минск: ВГКС, 2009. – 231 с. – С. 96.

7. Ковальчук, Н.В. Влияние природы порошкового наполнителя и добавки сильного электролита на эффективность гибких экранов электромагнитного излучения / Н.В. Ковальчук, Н.В. Колбун, А.А. Мухамед // Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ-2010: материалы 6-й Междунар. моло-

дежной науч.-техн. конф., Севастополь, Украина, 19–24 апр. 2010 г. / науч. ред. Ю.Б. Гимпилевич. – Севастополь: изд-во СевНТУ, 2010. – 519 с. – С. 428.

8. Ковальчук, Н.В. Влияние природы порошковых наполнителей на экранирующие свойства текстильных матриц / Н.В. Ковальчук, А.А. Мухамед // Физика конденсированного состояния (ФКС – XVIII): материалы Респ. науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов (с пригл. участников из др. стран), Гродно, Респ. Беларусь, 21–23 апр. 2010 г. / ГрГУ им. Я. Купалы; редкол.: Е.А. Ровба (отв. ред.) [и др.]. – Гродно: ГрГУ, 2010. – 398 с. – С. 280–283.

9. Характеристики одно- и двухслойных влагосодержащих гибких радиопоглощающих экранов на текстильной основе с гелево-порошковыми наполнителями / Н.В. Ковальчук, Н.В. Насонова, А.А. Мухамед, А.А. Позняк // СВЧ-техника и коммуникационные технологии (КрыМиКо'2010): материалы 20-й Международной Крымской конф., Севастополь, Крым, Украина, 13–17 сент. 2010 г. – Севастополь: Издательское предприятие «Вебер», 2010. – 1349 с. – С. 948–949.

10. Мухамед, А.А. Влагосодержащие экраны электромагнитного излучения на текстильной основе / А.А. Мухамед // Современные средства связи: материалы 15-й Международной науч.-техн. конф., Минск, Респ. Беларусь, 28–30 сент. 2010 г. / редкол.: А.О. Зеневич [и др.]. – Минск: УО ВГКС, 2010. – 196 с. – С. 85.

12. Влияние природы наполнителей на характеристики гибких двухслойных экранов электромагнитного излучения / Н.В. Ковальчук, А.А. Мухамед, В.А. Савич, Е.В. Сочнева // Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ-2011: 7-я Международная молодежная науч.-техн. конф., Севастополь, Украина, 11–15 апр. 2011 г. / науч. ред. Ю.Б. Гимпилевич. – Севастополь: изд-во СевНТУ, 2011. – 479 с. – С. 426.

11. Мухамед, А.А. Гибкие экраны электромагнитного излучения / А.А. Мухамед // Моделирование, компьютерное проектирование и технология производства электронных средств: материалы 47-й науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 25–29 апр. 2011 г. / редкол.: М.П. Батура [и др.]. – Минск: БГУИР, 2011. – С. 15. – [Электронный ресурс]. – 2011. – Режим доступа: http://www.bsuir.by/m/12_100229_1_68052.pdf. – Дата доступа: 31.10.2011.

13. Мухамед, А.А. Сравнение эффективности экранов электромагнитного излучения с углеродсодержащими наполнителями / А.А. Мухамед, Н.В. Насонова, Е.В. Сочнева // Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ-2012: материалы 8-й Международной молодежной науч.-техн. конф., Севастополь, Украина, 23–27 апр. 2012 г. / науч. ред. Ю.Б. Гимпилевич. – Севастополь: изд-во СевНТУ, 2012. – 506 с. – С. 392.

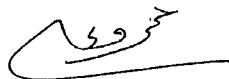
14. Мухамед, А.А. Сравнение характеристик экранов электромагнитного излучения с углеродсодержащими наполнителями / А.А. Мухамед // Моделирование, компьютерное проектирование и технология производства электронных средств: материалы 48-й науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 7-11 мая 2012 г. / редкол.: М.П. Батура [и др.]. – Минск: БГУИР, 2012. – С. 25–26. – [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа: http://www.bsuir.by/m/12_100229_1_72860.pdf. – Дата доступа: 02.09.2013.

Тезисы докладов на научных конференциях

15. Характеристики одно- и двухслойных гибких экранов электромагнитного излучения с добавкой TiO_2 и активированного угля / Н.В. Ковальчук, Н.В. Насонова, А.А. Мухамед, А.А. Позняк // Технические средства защиты информации: тез. докл. 18-й Белорусско-российской науч.-техн. конф., Браслав, Респ. Беларусь, 24–28 мая 2010 г. / редкол.: Л.М. Лыньков [и др.]. – Минск: БГУИР, 2010. – 150 с. – С. 112.

16. Характеристики двухслойных гибких экранов электромагнитного излучения с металлооксидными порошковыми наполнителями / С.В. Головатая, Н.В. Ковальчук, А.А. Мухамед, А.А. Позняк // Технические средства защиты информации: тез. докл. 18-й Белорусско-российской науч.-техн. конф., Браслав, Респ. Беларусь, 24–28 мая 2010 г. / редкол.: Л.М. Лыньков [и др.]. – Минск: БГУИР, 2010. – 150 с. – С. 112–113.

17. Сравнение характеристик двухслойных гибких экранов электромагнитного излучения с добавками шунгита и активированного угля в отражающем слое / Н.В. Насонова, А.А. Мухамед, А.А. Позняк, В.А. Савич, Е.В. Сочнева // Технические средства защиты информации: тез. докл. IX Белорусско-российской науч.-техн. конф., Минск, 28–29 июня 2011 г. – Минск: БГУИР, 2011. – 100 с. – С. 71–72.



РЭЗЮМЭ

Мухамед Альхамруні Алі Абдала

Водазмяшчальныя нанакампазітныя гнуткія экраны электрамагнітнага выпрамянення для ЗВЧ-дыяпазона

Ключавыя словы: нанаструктураваныя матэрыялы, кампазітныя экраны, электрамагнітнае выпрамяненне, аксіды пераходных металаў, гелева-парашковыя напаўняльнікі, вугляродзмяшчаючыя кампаненты, тэкстыльная аснова.

Мэта працы: Усталяванне ўзаемасувязі паміж складам напаўняльнікаў сітаватых матрыц з машынна-вязанага поліакрыланітрыльнага (нітронавага) палатна высокай шчыльнасці ношкі і іх уласцівасцямі ў радыечастотным дыяпазоне для выраба новых нанакампазітных экранаў электрамагнітнага выпрамянення, ў тым ліку працаздольных пры паніжаных тэмпературах.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: Усталявана, што ўводзіны ў машынна-вязанае поліакрыланітрыльнае (нітронавае) палатна высокай шчыльнасці ношкі воднага 1,0 М раствору гексацыанаферату (III) калію прыводзіць да зніжэння каэфіцыентаў перадачы (S21) і адлюстравання (S11) электрамагнітнага выпрамянення ў дыяпазоне частасцяў 8 – 11 ГГц, чаго не адбываецца ў выпадку выкарыстання раствораў слабых кіслот і неарганічных салей. Паказана, што выкарыстанне гелю полівінілавага спірту ў складзе гелева-парашковых напаўняльнікаў з аксідамі пераходных металаў і прыродным нанаструктураваным вугляродзмяшчаючым кампанентам – актываваным вугалем і шунгітам, дазваляе запабегчы седыментацыю парашковага кампанента, а даданне хларыду калію ў гель прыводзіць да павелічэння эфектыўнасці экранавання, якое выяўляецца ў зніжэнні да 4 дБ каэфіцыента перадачы пры нязначным змяншэнні адлюстравання, і забяспечвае працаздольнасць экранаў з гелева-шунгітовым напаўняльнікам пры паніжаных да 258 К тэмпературах. Двухслаевыя нанакампазітныя экраны на аснове тэкстыльнага палатна, уключальныя бліжэйшы да крыніцы ЭМВ пласт з гелева-парашковым метала-аксідным напаўняльнікам і пласт з вугляродзмяшчаючым напаўняльнікам, які размяшчаецца за ім, маюць паніжаныя на 12 – 14 дБ каэфіцыенты перадачы ЭМВ ў параўнанні з аднапластовымі экранамі за кошт адлюстравання выпрамянення на мякыя гэтых пластоў.

Ступень выкарыстання: Вынікі дысертацыйнай працы ўкаранены ў навучальны працэс у Беларускаім дзяржаўным універсітэце інфарматыкі і радыеэлектронікі і скарыстаны ў НДЛ 5.3 НДЧ БДУІР пры правядзенні навуковых даследаванняў.

Вобласць ужывання: Атрыманыя дадзеныя неабходны для далейшых даследаванняў у вобласці стварэння радыээкрануючых і радыепаглынаючых матэрыялаў. Вынікі могуць быць скарыстаны для вырабу гнуткіх электрамагнітных экранаў, што ўжываюцца ў розных сферах.

РЕЗЮМЕ

Мухамед Альхамруни Али Абдалла

Водосодержащие нанокompозитные гибкие экраны электромагнитного излучения для СВЧ-диапазона

Ключевые слова: наноструктурированные материалы, композитные экраны, электромагнитное излучение, оксиды переходных металлов, гелево-порошковые наполнители, углеродсодержащие компоненты, текстильная основа.

Цель работы: Установление взаимосвязи между составом наполнителей пористых матриц из машинно-вязаного полиакрилонитрильного (нитронового) полотна высокой плотности вязки и их свойствами в радиочастотном диапазоне для получения новых нанокompозитных экранов электромагнитного излучения, в том числе работоспособных при пониженных температурах.

Полученные результаты и их новизна: Установлено, что введение в машинно-вязаное полиакрилонитрильное (нитроновое) полотно высокой плотности вязки водного 1,0 М раствора гексацианоферрата (III) калия приводит к снижению коэффициентов передачи (S_{21}) и отражения (S_{11}) электромагнитного излучения в диапазоне частот 8 – 11 ГГц, чего не происходит в случае использования растворов слабых кислот и неорганических солей. Показано, что использование геля поливинилового спирта в составе гелево-порошковых наполнителей с оксидами переходных металлов и природным наноструктурированным углеродсодержащим компонентом – активированным углем и шунгитом, позволяет предотвратить седиментацию порошкового компонента, а добавление хлорида калия в гель приводит к увеличению эффективности экранирования, выражающемся в снижении до 4 дБ коэффициента передачи при незначительном уменьшении отражения, и обеспечивает работоспособность экранов с гелево-шунгитовым наполнителем при пониженных до 258 К температурах. Двухслойные нанокompозитные экраны на основе текстильного полотна, включающие ближний к источнику ЭМИ слой с гелево-порошковым металлооксидным наполнителем и располагающийся за ним слой с углеродсодержащим наполнителем, имеют пониженные на 12 – 14 дБ коэффициенты передачи ЭМИ по сравнению с однослойными экранами за счет отражения излучения на границе раздела этих слоев.

Степень использования: Результаты диссертационной работы внедрены в учебный процесс в Белорусском государственном университете информатики и радиоэлектроники и использованы в НИЛ 5.3 НИЧ БГУИР при проведении научных исследований.

Область применения: Полученные данные необходимы для дальнейших исследований в области создания радиоэкранирующих и радиопоглощающих материалов. Результаты могут быть использованы для изготовления гибких электромагнитных экранов, применяемых в различных сферах.

SUMMARY

Mohamed Elhamruni Ali Abdullah

Hydrous nanocomposite flexible shields for electromagnetic radiation for UHF-band

Keywords: nanostructured materials, monomers composite, electromagnetic radiation, and metal oxides transition, gel powders fillers, carbon components, and textile base.

Objective: to establish a relationship between the composition of filler porous matrices of knitted-machine of polyacrylonitrile (nitronic) high-density knit fabric and their properties in the range of radio frequencies for nanocomposite of electromagnetic radiation new shields also working at low temperature.

Results and their novelty: It has been shown that the addition of the 1 M aqueous solution of potassium hexacyano (III) ferrate in the knitted machine polyacrylonitrile (nitronic) knit fabric of high density reduces transmission (S₂₁) and reflection (S₁₁) of electromagnetic radiation in the frequency range of 8 – 11 GHz. This issue does not occur in the case of weak solutions of inorganic acids and their salts. It is shown that the use of alcoholic polyvinyl gel containing gel-powdered fillers with oxides of transition metals and natural nanostructured carbon-containing components: coal and shungite allows preventing sedimentation of powdered components and adding potassium chloride to gel increases the shielding effectiveness, reduces the transfer coefficient with a slight decrease in reflectance to 4 dB, and provides the performance of shields with shungite at low the temperatures up to 258 K. The bilayer nanocomposite shields based on textile fabric, which includes the closer layer to the source of electromagnetic radiation layer with the gel-layer metal oxide powder filler and then a layer of stuffed carbon, have the lowest transfer coefficient of the electromagnetic radiation (12 – 14 dB) compared to the unilayer shield due to reflection radiology at the interface between these layers.

The extent of use: Results of the thesis were introduced in the educational process of the Belarusian State University of Informatics and Radio Electronics and used in the laboratory 5.3 BSUIR for scientific researches.

Field of application: This data is necessary for further researches in the field of radio and shielding materials absorption. Results that can be used to produce flexible electromagnetic shields in various fields.

Научное издание

Мухамед Альхамруни Али Абдалла

**ВОДОСОДЕРЖАЩИЕ
НАНОКОМПОЗИТНЫЕ ГИБКИЕ ЭКРАНЫ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
ДЛЯ СВЧ-ДИАПАЗОНА**

Специальность 05.16.08 — Нанотехнологии и наноматериалы

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 07.02.2014.	Формат 60x84 ¹ / ₁₆ .	Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс».	Отпечатано на ризографе.	Усл. печ. л. 1,63.
Уч.-изд. л. 1,4.	Тираж 60 экз.	Заказ 32.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
ЛИ №02330/0494371 от 16.03.2009. ЛП №02330/0494175 от 03.04.2009.
220013, Минск, П. Бровки, 6