

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
"БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ"

"Для служебного пользования"

Инв.№ 33/2

Экз 55

УДК 621.315.5/.6; 621.318.1

КОЛБУН НАТАЛЬЯ ВИКТОРОВНА

**ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭКРАНОВ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ
ВЛАГОСОДЕРЖАЩИХ КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Специальность 05.27.06 – "Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники"

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Минск 2005

Работа выполнена в учреждении образования "Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники"

Научный руководитель доктор технических наук, профессор
Лыньков Леонид Михайлович
(Учреждение образования "Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники", кафедра защиты информации)

~~Официальные оппоненты:~~ доктор технических наук, профессор,
член-корреспондент НАН Беларуси
Муравьев Валентин Владимирович
(Учреждение образования "Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники", кафедра систем телекоммуникаций)

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
Мельников Виктор Павлович
(Государственное научное учреждение "Институт электроники Национальной академии наук Беларуси")

Оппонирующая организация: Государственное учреждение
"Научно-исследовательский институт
Вооруженных Сил Республики Беларусь"

Защита состоится 2 июня 2005 г. 14 час. на заседании совета по защите диссертаций Д.02.15.03 при учреждении образования "Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники" (220013, г. Минск, ул. П. Бровки, 6, корп. 1, ауд. 232, тел. 239-89-89).

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

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. В ходе эволюционного процесса живые организмы приспособились к естественному электромагнитному излучению окружающей среды — электрическому и магнитному полям Земли, радиоизлучению космических объектов (Солнца, звезд и пр.), полям, сопутствующим атмосферным процессам (разрядам молний и т.д.). В результате человеческий организм, являющийся сложной адаптивной системой, выработал собственные механизмы защиты. Однако антропогенные источники электромагнитного излучения (ЭМИ) оказывают дополнительное воздействие на биологические объекты, иногда в несколько раз превышающее по интенсивности естественные уровни электромагнитных полей и имеющее широкий спектральный состав, что приводит к нарушению функционирования естественных систем защиты биологических организмов. Зачастую реакции биообъектов трудно предсказуемы и носят комплексный характер.

Функционированию практически всех электронных устройств сопутствует создаваемое ими электромагнитное излучение. Оно может использоваться для передачи и получения информации или представлять собой нежелательное побочное излучение, создающее каналы утечки информации, нарушающее электромагнитную совместимость радиоэлектронных средств, оказывающее сильное влияние на организм пользователя вследствие его незначительного удаления от источника излучения. Кроме того, вследствие электромагнитной индукции, электромагнитное излучение вызывает наводки в рядом расположенных проводниках, цепях питания, создавая дополнительные каналы утечки информационного сигнала. Между тем современный уровень обнаруживающей техники позволяет улавливать и расшифровывать сигналы с очень малой мощностью.

Актуальность разработки высокоэффективных, широкополосных, технологичных и удобных в эксплуатации экранирующих и радиопоглощающих материалов обуславливается не только проблемами биологического воздействия электромагнитных излучений, а также высокой потребностью в таких материалах при разработке и усовершенствовании конструкций изделий радиоэлектроники, устройств защиты информации и наземных объектов. Основными недостатками существующих в настоящее время экранов являются сложность процессов изготовления, применение дорогостоящих материалов и технологий, относительно большие габариты и масса широкополосных конструкций, что приводит к отсутствию мобильности и ограничивает их применение.

Последние исследования в области разработки гибких широкополосных экранов ЭМИ с повышенной эффективностью направлены на создание multifunctional конструкций на основе композиционных материалов. При этом в качестве наполнителей используются различные материалы с потерями,

а механические характеристики обуславливаются свойствами образующей матрицы. Синтезируемые материалы представляют собой сложные гетерогенные среды свойства и механизмы взаимодействия которой с ЭМИ зависят от многих параметров и изучены недостаточно.

Связь работы с крупными научными программами, темами. Работа выполнялась в учреждении образования "Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники" в рамках ГБЦ № 03-3172 государственной программы ГПОФИ "Наноматериалы и нанотехнологии" (задание 4.11) в 2003-2004 гг., № госрегистрации 20033082, а также гранта Фонда фундаментальных исследований НАН РБ № Т04М-183 в 2004-2005 гг., № госрегистрации 2005142 где автор является ответственным исполнителем.

Цель и задачи исследования. Целью работы является разработка новых экранирующих материалов на основе влагосодержащих сверхуплотненных пористых целлюлозных матриц и машинно-вязанных полотен, исследование зависимости их микроволновых свойств от условий герметизации, эксплуатации и разработка на их основе экранов электромагнитного излучения для различных применений.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе необходимо было решить следующие задачи:

- исследовать влагопоглощающие свойства различных волокнистых материалов;
- разработать технологии изготовления капиллярно-пористых матриц из волокнистых материалов с высокими влагопоглощающими свойствами для формирования пространственной гидродисперсной структуры с высокой степенью дискретности и образованием нано- и микроразмерных влагосодержащих включений;
- исследовать влияние состава и структуры волокнистой матрицы на экранирующие свойства композиционного влагосодержащего материала;
- исследовать экранирующие и радиопоглощающие свойства распределенных влагосодержащих структур различного состава в широком диапазоне длин волн;
- разработать технологии изготовления экранов ЭМИ на основе влагосодержащих волокнистых материалов, адаптированные для различных областей применения и исследовать их экранирующие и эксплуатационные характеристики.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования являются влагосодержащие сверхуплотненные волокнистые материалы. **Предметом исследования** являются закономерности, механизмы, кинетика и динамика физико-химических процессов, протекающих в объеме волокнистых материалов при закреплении в них локальных влагосодержащих включений, и влияние выяв-

ленных особенностей на электромагнитные характеристики экранов ЭМИ на их основе.

Методология и методы проведенного исследования. Исследование структуры влагосодержащих композиционных материалов, их микроволновых свойств проводились методами оптической микроскопии, гравиметрии, а также с использованием скалярных анализаторов цепей на основе панорамных измерителей КСВН и ослабления с волноводными трактами и гониометрической установки со спектрополяриметром Гемма МС-09.

Научная новизна и значимость полученных результатов.

1. Разработана пространственно-временная модель процесса заполнения влагосодержащим наполнителем капиллярно-пористых матриц с различной структурой и параметрами на основе уравнений Уошбурна, Жюрена, модели Фрей-Висслинга, теорий Дерягина и общей теории капиллярного впитывания, с использованием которой показано, что насыщение капиллярно-пористой матрицы жидкостью линейно зависит от ее вязкости и поверхностного натяжения, а также размеров и структуры капиллярно-пористой матрицы, а зависимость заполнения волокнистого материала от времени пропитки носит логарифмический характер.

2. Установлены закономерности формирования локальных нано- и микро-размерных водосодержащих многоострижных структур, образующихся в результате заполнения капиллярно-пористой матрицы влагосодержащими наполнителями. Экспериментально установлены максимальные коэффициенты влагопоглощения нетканых волокнистых материалов (0,90), машинно-вязанных полотен повышенной плотности (0,75), сверхуплотненных целлюлозных материалов (0,85), вследствие высокопористой уплотненной и упорядоченной структуры которых обеспечивается пространственная фиксация жидкости за счет действия сил поверхностного натяжения.

3. Установлено, что эффективность экранирования конструкций на основе сверхуплотненных машинно-вязанных полотен толщиной 1,6 мм с коэффициентом влагосодержания 0,72 в диапазоне частот 8...115 ГГц составляет -13...-40 дБ при коэффициенте отражения -3...-12 дБ. Использование в качестве капиллярно-пористой матрицы материалов на основе целлюлозы с коэффициентом влагосодержания 0,85 при толщине 2,5 мм позволяет получить поглотители ЭМИ с коэффициентом ослабления электромагнитной энергии -10...-25 дБ в диапазоне частот 8...115 ГГц, при этом коэффициент отражения составляет -2,5...-11 дБ. Показана зависимость характеристик ослабления и отражения волокнистых материалов от их влагосодержания. Показана возможность изменения коэффициентов отражения и поглощения ЭМИ за счет введения в состав раствора солей различных металлов, а также органических соединений на ± 4 дБ.

4. Установлено, что применение влагосодержащего наполнителя позволяет равномерно снизить коэффициент спектральной яркости (КСЯ) волокнистых материалов в диапазоне длин волн 350...1050 нм на 0,2...0,3 по сравнению с фоновым показателем (исходный волокнистый материал) и показано, что КСЯ не зависит от поляризации падающего излучения.

Практическая значимость полученных результатов.

1. Разработана технология создания базовых модулей экранов электромагнитного излучения (включая рельефные) на основе влагосодержащих волокнистых материалов с использованием машинно-вязанных полотен повышенной плотности и уплотненных целлюлозных материалов, содержащих растворный наполнитель на базе воды с добавлением солей металлов (NaCl) (не менее 30%) и органических соединений (глицерин) (не более 50%). Разработана технология изготовления машинно-вязанного полотна на основе полиакрилонитрильных волокон, обладающего высокопористой уплотненной структурой с максимальным коэффициентом влагопоглощения 0,75, параметры которого могут изменяться применением различных вариантов заправки (максимальный диаметр пор 2...8 мкм).

2. Разработан способ герметизации влагосодержащих капиллярно-пористых матриц с использованием многослойных полимерных пленок толщиной 200 мкм, позволяющий осуществить временную стабилизацию экранирующих характеристик и увеличить срок эксплуатации конструкции.

3. Разработана технология изготовления гибких многослойных наборных конструкций экранов ЭМИ на основе волокнистых материалов, содержащих металлические и влагосодержащие включения, и металлического слоя микронной толщины, позволяющих существенно снизить коэффициенты ослабления (менее -35 дБ) и отражения (до -10 дБ в диапазоне частот 8...11,5 ГГц). Разработаны методы сборки защитных экранов электромагнитного излучения для изготовления конструкций необходимой площади, наращивание которых производится соединением "внахлест".

4. Разработана конструкция экрана ЭМИ с улучшенными эксплуатационными характеристиками в диапазоне температур -18...+70°C за счет использования в качестве влагосодержащих наполнителей минеральных рассолов Гомельского месторождения, коэффициент ослабления которой составляет -13...-23 дБ в диапазоне частот 8...11,5 ГГц. Показано, что 10 %-ное снижение количества влаги не оказывает заметного влияния на коэффициенты ослабления и отражения электромагнитного излучения в герметизированных конструкциях экранов ЭМИ, а превышение этого порогового уровня приводит к снижению эффективности экранирования.

5. Разработаны оригинальная методика и технологический процесс создания модульной конструкции радиопоглощающего экрана для снижения радио-

локационной заметности наземных объектов, которые внедрены в Военной академии Республики Беларусь (г. Минск); результаты диссертационной работы используются в Высшем государственном колледже связи (г. Минск) в учебном процессе в курсах "Охрана труда и промышленная экология" и "Почтовая безопасность".

Основные положения диссертации, выносимые на защиту.

1. Закономерности заполнения влагосодержащим наполнителем капиллярно-пористых матриц, позволившие установить линейную зависимость степени заполнения матрицы от ее размеров и структуры, а также вязкости и поверхностного натяжения жидкости, и логарифмическую зависимость насыщения волокнистых материалов жидкостью от времени.

2. Многоострийная структура нано- и микроразмерных влагосодержащих включений, формирующихся в органических капиллярно-пористых материалах с максимальным коэффициентом влагосодержания 0,9.

3. Методы повышения значения ослабления и увеличения коэффициента отражения влагосодержащих целлюлозных и машинно-вязанных матриц путем использования водных растворов солей металлов, снижения ослабления и коэффициента отражения при введении органических добавок. Экспериментально установленное повышение значения ослабления и снижение коэффициента отражения влагосодержащих волокнистых материалов с увеличением частоты.

4. Установленное равномерное снижение коэффициента спектральной яркости водосодержащих машинно-вязанных полотен и целлюлозных материалов на 0,2...0,3 в диапазоне длин волн 350-1050 нм независимо от поляризации падающего излучения.

5. Методики формирования и конструкции экранов ЭМИ со сниженными значениями коэффициентов ослабления (до -35 дБ) и отражения (до -10 дБ) в диапазоне частот 8...11,5 ГГц с применением в качестве герметика многослойных полимерных пленок для увеличения срока эксплуатации влагосодержащих экранов электромагнитного излучения за счет снижения ухода влаги до 0,2 % за 30 дней.

Личный вклад соискателя. Содержание диссертации отражает личный вклад автора. Он заключается в проведении теоретического анализа современных методов и средств экранирования электромагнитного излучения, подготовке и проведению экспериментов по исследованию влагопоглощающих свойств волокнистых материалов и измерению экранирующих характеристик конструкций на их основе. Определение целей и задач исследований, интерпретация и обобщение полученных результатов проводилось совместно с научным руководителем д.т.н. Л.М. Лыньковым, к.т.н. В.А.Богущем, к.т.н. А.М.Прудником, к.т.н. Т.В.Борботько.

Апробация результатов диссертации. Материалы, вошедшие в диссертационную работу, докладывались и обсуждались на I, II и III Международных научно-технических конференциях "Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии" (Минск, Беларусь, 2002, 2003, 2004 гг.); VI Международной летней школе-семинаре "Современные информационные технологии" (Браслав, Беларусь, 2003 г.); Международной научно-практической конференции "Міжнародны экалагічны досвед і яго выкарыстанне на Беларусі" (Витебск, Беларусь, 2003 г.); IV Международном аэрокосмическом конгрессе (Москва, Россия, 2003 г.); VIII, IX Международных научно-технических конференциях "Современные средства связи" (Нарочь, Беларусь, 2003, 2004 гг.); I и II Белорусско-российских научно-технических конференциях "Технические средства защиты информации" (Нарочь, Беларусь, 2003, 2004 гг.); Международной научной конференции "Сахаровские чтения 2004 года. Экологические проблемы XXI века" (Минск, Беларусь, 2004 г.); III Международной научно-технической конференции "Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств" (Новополоцк, Беларусь, 2004 г.); научной конференции "Обеспечение безопасности информации в информационных системах" (Минск, Беларусь, 2004 г.); Международной научно-технической конференции "Новые технологии изготовления многокристалльных модулей" (Нарочь, Беларусь, 2004 г.); The 13th Symposium "Advanced display technologies" (Raubichi, Belarus, 2004); III Международном научном семинаре "Наноструктурные материалы" (Минск, Беларусь, 2004 г.); Международном научно-техническом семинаре "Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных" (Минск, Беларусь, 2004 г.).

Опубликованность результатов. Результаты исследований по теме диссертации опубликованы в 24 печатных работах: 1 монографии, 3 статьях в научных журналах, 17 статьях в сборниках материалов конференций, 1 тезисе доклада в сборнике материалов семинара. Получено 2 патента Республики Беларусь на полезную модель. Общий объем опубликованных работ — 179 страниц, в совместно опубликованных научных работах автору принадлежит 61,7 страниц.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из общей характеристики работы, четырех глав с краткими выводами по каждой главе, заключения, списка использованных источников и приложений. Общий объем диссертационной работы составляет 175 страниц. Она включает 88 страниц машинописного текста, 120 иллюстраций на 55 страницах, 27 таблиц на 15 страницах, список использованных источников из 166 наименований на 15 страницах и 2 приложения на 2 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В общей характеристике работы определено основное направление, обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи работы, изложены основные положения, выносимые на защиту, сформулированы научная новизна и практическая значимость полученных в работе результатов.

В первой главе приведен анализ современных методов и средств экранирования электромагнитного излучения. Рассмотрены принципы взаимодействия электромагнитного излучения с различными средами. На основе анализа информации литературных и патентных источников описаны основные конструкции экранов ЭМИ. Показано, что принцип действия большинства экранирующих и радиопоглощающих материалов основан на подавлении электромагнитного излучения за счет магнитных, диэлектрических и резистивных потерь. Однако характеристики экранирования однослойных конструкций довольно узкополосны, расширения рабочего диапазона частот добиваются созданием многослойных покрытий с различными механизмами подавления ЭМИ в разных областях частотного диапазона. Основными недостатками существующих в настоящее время экранов является сложность процессов изготовления, применение дорогостоящих материалов и технологий, относительно большие габариты и масса широкополосных конструкций, что приводит к отсутствию гибкости и мобильности и ограничивает их применение стационарными конструкциями.

Гибкие конструкции экранов электромагнитного излучения в основном представляют собой композиционные материалы, механические свойства которых обеспечиваются образующей матрицей, а электромагнитные – диспергированным материалом с потерями. Показано, что вследствие высоких диэлектрических потерь воды в СВЧ-диапазоне перспективным направлением создания эффективных конструкций экранов ЭМИ является использование влагосодержащих наполнителей, закрепленных в капиллярно-пористых матрицах.

Во второй главе описываются методы создания образцов влагосодержащих капиллярно-пористых матриц и исследования их свойств.

Проводится обоснование выбора влагосодержащих наполнителей как основы для создания эффективных экранирующих материалов. Показано, что формирование их пространственной структуры возможно путем распределения и удержания жидкости в капиллярно-пористом материале силами поверхностного натяжения. На основе сравнительной характеристики свойств известных волокнистых материалов показано, что наиболее удовлетворяющими требованиям к сырью для капиллярно-пористых матриц являются синтетические полиакрилонитрильные и натуральные целлюлозные волокна вследствие их высокой технологичности, высоких механических характеристик, устойчивости к большому числу видов воздействий.

Представлены результаты разработки оригинальной методики изготовления машинно-вязанного полотна повышенной плотности на основе анализа существующих методов формирования трикотажных полотен с использованием стандартного трикотажного кругловязального оборудования 16-го класса. Предложено для увеличения толщины и плотности материала использовать переплетение вида "производная гладь", отдельные полотна которого соединяются футерным способом (рис. 1).

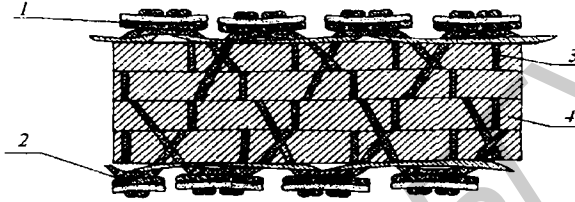


Рис. 1. Структура машинно-вязанного полотна повышенной плотности:
1, 2 — полотна производной глади; 3 — связующие нити футерного соединения; 4 — нити утка

При линейной плотности уточной (50,4 текс) и грунтовой (37,5 текс) нитей изготовленное полотно обладает наибольшей поверхностной плотностью 1313 г/м^2 , воздухопроницаемостью $6 \text{ дм}^3/\text{мс}$ и коэффициентом светопропускания фильтра 50, соответствующего максимальному диаметру пор $\leq 2 \text{ мкм}$. Параметры волокнистой матрицы таким образом могут изменяться использованием различных вариантов заправки.

Предложено использовать капиллярно-пористые матрицы на основе сверхуплотненных целлюлозных материалов в качестве основы экранов электромагнитного излучения для закрепления влагосодержащих наполнителей. При этом формируемая капиллярно-пористая структура обладает анизотропией, средний радиус пор составляет $0,1 \dots 1 \text{ мкм}$.

Количество жидкости, закрепляемое в результате пропитки в волокнистой матрице, оценивалось гравиметрически. Исследование электромагнитных характеристик синтезируемых композиционных материалов в диапазоне СВЧ производилось с использованием векторных и скалярных анализаторов цепей и волноводных трактов. Использование комбинированной схемы позволило повысить точность измерений и обеспечить единство условий проведения экспериментов. Контроль температуры образцов одновременно с измерением их коэффициентов ослабления и отражения ЭМИ позволил получить эксплуатационные характеристики влагосодержащих волокнистых материалов в различных климатических условиях. Гониометрические исследования характеристик рассеяния электромагнитного излучения диапазона длин волн $30 \dots 1050 \text{ нм}$ производились с использованием спектрополяриметра.

В третьей главе представлены результаты исследований влагопоглощающей способности различных волокнистых материалов. Показано, что максимальный коэффициент влагосодержания машинно-вязанного полотна повышенной плотности, созданного по разработанной технологии, составляет 0,75 и обеспечивается за счет высокопористой уплотненной структуры матрицы. Максимальный коэффициент влагосодержания целлюлозных материалов составляет 0,85 и связан с высокой гигроскопичностью целлюлозных волокон и особенностями взаимодействия их с водой.

Для моделирования процесса заполнения жидкостью капиллярно-пористых матриц использовалось частное решение уравнения нестационарного ламинарного течения жидкости в цилиндрическом капилляре в гравитационном поле с учетом сил инерции, которое применяется для описания процессов пропитки волокнистых материалов:

$$l(t) = \left[1 - \frac{e^{m_2 t} m_1 - e^{m_1 t} m_2 + \frac{v(e^{m_2 t} - e^{m_1 t})}{l_m}}{m_1 - m_2} \right] \cdot l_m, \quad (1)$$

где l — расстояние, на которое перемещается мениск жидкости за время t , м; v , m_1 , m_2 — коэффициенты, рассчитываемые на основе параметров системы органическая матрица — жидкость; l_m — максимальная высота поднятия жидкости в капиллярно-пористом материале, м:

$$l_m = 2\sigma \frac{\cos \theta}{r_{\text{экв}} \rho \cdot g \cdot \sin \alpha}, \quad (2)$$

где ρ — плотность жидкости, кг/м³; σ — поверхностное натяжение жидкости, Н/м; θ — краевой угол смачивания; g — гравитационная постоянная, 9,8 м/с²; α — угол наклона оси капилляра к горизонту. Для описания материалов со сложным капиллярно-пористым строением используют упрощенную модель в виде системы цилиндрических капилляров эквивалентного радиуса, значение которого определяется из параметров пористости и проницаемости капиллярно-пористой матрицы:

$$r_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{8 \cdot K}{\Pi}}, \quad (3)$$

где K — проницаемость материала; Π — пористость материала. Пористость капиллярно-пористых матриц предложено рассчитывать в зависимости от их структуры и объема абсолютно сухого волокнистого материала:

$$H = 1 - \frac{m_{\text{сух}} - m_{\text{сух}} \cdot V_l}{V_{\text{образца}} \cdot \rho}, \quad (4)$$

где $m_{\text{сух}}$ — масса сухого образца; V_l — равновесная влажность образца; $V_{\text{образца}}$ — измеренный объем образца; ρ — плотность материала волокон образца.

Предлагаемая пространственно-временная модель процесса заполнения волокнистой матрицы жидкостью позволяет описать движение фронта наполнителя в отрезке материала, рассчитать кинетику насыщения капиллярно-пористого материала различными жидкостями и максимальный размер матрицы, в которой осуществляется фиксация жидкости в капиллярах под действием сил поверхностного натяжения. Отличительной особенностью модели является определение проницаемости и пористости матрицы на основе ее структуры и физико-химических свойств материала волокон. Показан логарифмический характер кинетики процесса пропитки волокнистого материала жидкостью (рис. 2), показано, что насыщение капиллярно-пористой матрицы влагой линейно зависит от ее вязкости и поверхностного натяжения, а также размеров и структуры матрицы (рис. 3):

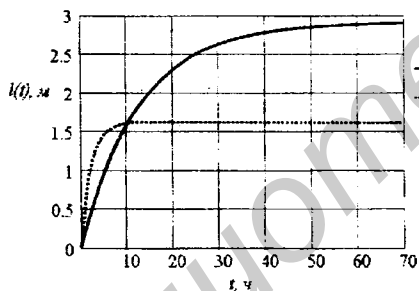


Рис. 2. Расчетная зависимость высоты поднятия жидкости в капиллярно-пористом материале с различными параметрами структуры: пористость 0,75; 1 — проницаемость материала $2 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2$; 2 — проницаемость материала $6 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2$

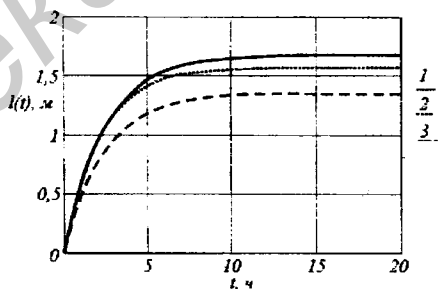


Рис. 3. Расчетная зависимость высоты поднятия жидкости в капиллярно-пористом материале при использовании различных растворов: 1 — плотность жидкости 10^3 кг/м^3 , вязкость жидкости $0,82 \cdot 10^{-3} \text{ Н·с/м}^2$; 2 — плотность жидкости $1,071 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, вязкость жидкости $0,82 \cdot 10^{-3} \text{ Н·с/м}^2$; 3 — плотность жидкости $1,18 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, вязкость жидкости $1,2 \cdot 10^{-3} \text{ Н·с/м}^2$; поверхностное натяжение жидкости $6,9 \cdot 10^{-2} \text{ Н/м}$

С использованием тестовых планарных структур (рис. 4) и оптической микроскопии показано образование на границах раздела органической материал-жидкость-воздух многоострых микро- и наноразмерных локальных вла-

госодержащих включений (рис. 5), формирующихся в результате действия сил поверхностного натяжения.

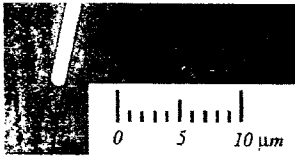


Рис. 4. Оптическая микрофотография формы мениска жидкости в стеклянном капилляре, увеличение 200 раз



Рис. 5. Микрофотография локального микро-размерного растворного объема в нити из полиакрилонитрильных волокон, увеличение 200 раз

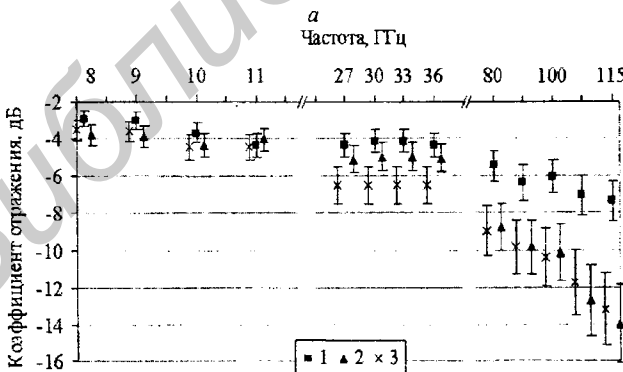
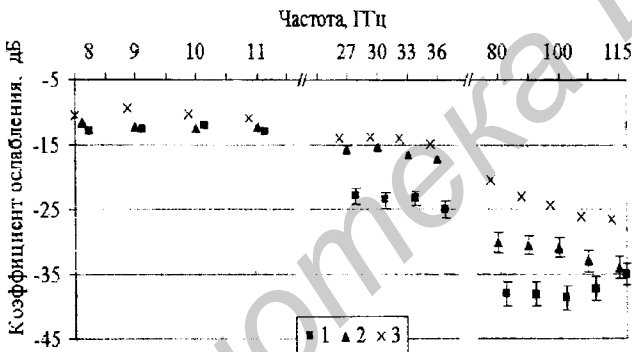


Рис. 6. Частотные зависимости коэффициента ослабления (а), коэффициента отражения (б) влагосодержащих машинно-вязанных полотен повышенной плотности с различным коэффициентом влагосодержания: 1 — 0,72; 2 — 0,64, 3 — 0,60

Исследованы экран-ирующие свойства влагосодержащих волокнистых материалов в диапазонах частот 8...11,5, 27...36, 80...115 ГГц в зависимости от состава пропитывающего раствора и коэффициента влагосодержания капиллярно-пористой матрицы. Установлено, что коэффициент ослабления материалов на основе сверхплотных машинно-вязанных полотен толщиной 1,6 мм составляет -13...-40 дБ при коэффициенте отражения -3...-13 дБ (рис. 6).

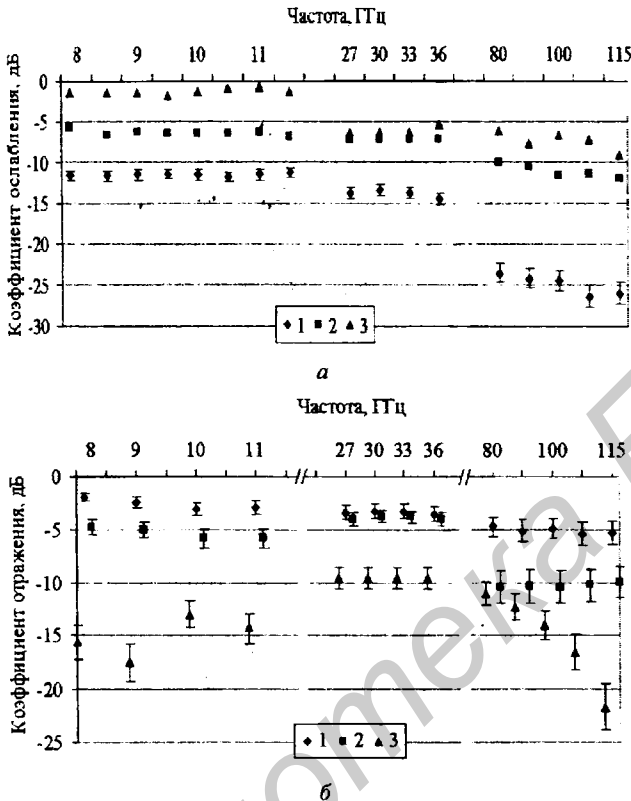


Рис. 7. Частотные зависимости коэффициента ослабления (а); коэффициента отражения (б) уплотненных влагосодержащих целлюлозных материалов с различным коэффициентом влаго- содержания: 1 — 0,85; 2 — 0,75 3 — 0,70

Показано, что коэффициент спектральной яркости машинно-вязанного полотна белого цвета составляет 0,9 (рис. 8, а), а для целлюлозных материалов снижается до значения 0,5...0,6 в области длин волн 400...450 нм и увеличивается до значения 1,0 в области ближнего ИК диапазона, что объясняется химической природой целлюлозных волокон и структурой материалов на их основе (рис. 8, б). Использование влагосодержащего наполнителя позволяет равномерно снизить коэффициент спектральной яркости влагосодержащих волокнистых материалов на 0,2...0,3 по сравнению с фоновым показателем (непропитанная матрица). Установлено, что характеристики рассеивания не зависят от поляризации падающего излучения

Установлено, что использование в качестве капиллярно-пористой матрицы волокнистых материалов на основе целлюлозы при толщине 2,5 мм позволяет получить поглотители ЭМИ с коэффициентом ослабления электромагнитной энергии -10...-25 дБ в диапазоне частот 8...115 ГГц, при коэффициенте отражения -3...-10 дБ (рис. 7).

Представлены характеристики рассеяния электромагнитного излучения диапазона длин волн 350...1050 нм матрицами из волокнистых материалов.

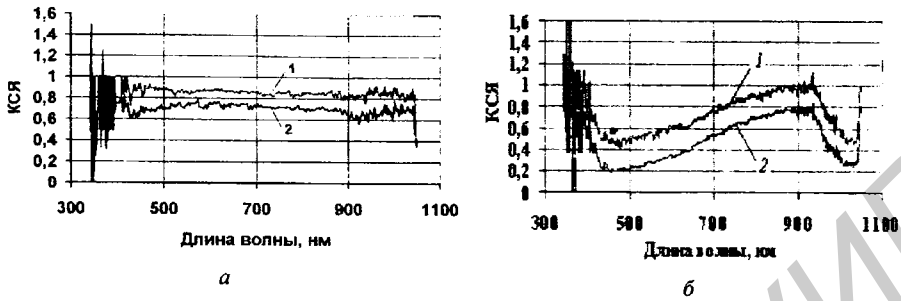


Рис. 8. Спектральные характеристики сверхплотненного машинно-вязанного полотна (а), целлюлозного материала (б): 1 — без влагосодержащего наполнителя; 2 — пропитанного раствором

В четвертой главе представлены результаты разработки технологии изготовления базового модуля гибкой конструкции экрана электромагнитного излучения на основе влагосодержащих волокнистых материалов (сверхплотненных машинно-вязанного полотна и целлюлозы). Повышение срока эксплуатации разработанных конструкций достигается использованием многослойных полимерных пленок, позволяющих существенно замедлить потерю влаги вследствие испарения и обеспечить снижение коэффициента влагосодержания не более 0,2 % за 30 дней.

Приведены технологии формирования рельефных и многослойных конструкций, позволяющих создавать экраны электромагнитного излучения с увеличенной эффективностью. Показано, что коэффициент ослабления ЭМИ многослойных конструкций, содержащих металлический отражатель, составляет ниже -35 дБ при коэффициенте отражения не выше -7 дБ.

Исследована температурная зависимость экранирующих характеристик влагосодержащих волокнистых матриц. Показано, что при понижении температуры основная эффективность экранирования обеспечивается за счет наличия незамерзающих прослоек воды вблизи поверхности твердотельной органической матрицы при кристаллизации воды в объемной фазе. Введение органических добавок в состав влагосодержащего наполнителя позволяет понизить температуру перехода наполнителя из жидкого агрегатного состояния в твердое и сохранить гибкость конструкции, однако снижает характеристики экранирования материала. Наилучшей стабильностью свойств в различных климатических условиях обладают жидкие среды на основе минеральных рассолов Гомельского месторождения, обеспечивающих коэффициент ослабления не выше -10...-22 дБ в температурном диапазоне -18...+70°C (рис. 9) вследствие диэлектрических потерь водного раствора в жидкой фазе и дополнительных потерь на проводимость.

Представлена методика сборки гибких конструкций экранов ЭМИ путем соединения базовых модулей внахлест, наращивая необходимую площадь защитного материала. Использование элементов крепления с тонкопленочным металлическим покрытием обеспечивает возможность многократного использования базовых модулей в различных конфигурациях и препятствует проникновению электромагнитной энергии в местах соединений.

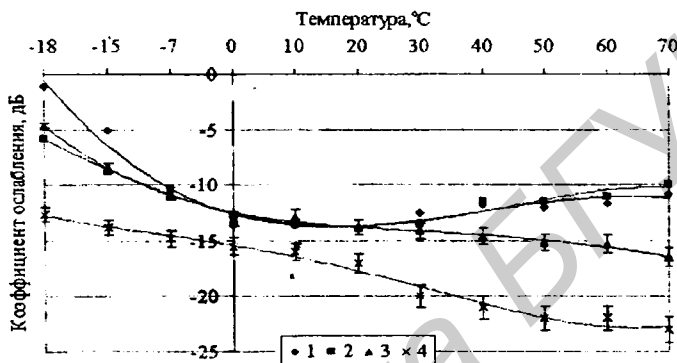


Рис. 9. Температурная зависимость коэффициента ослабления влагосодержащих конструкций экранов ЭМИ в диапазоне частот 8...11,5 ГГц: 1 — вода; 2 — водный раствор глицерина; 3 — 20%-ный раствор NaCl; 4 — минеральный рассол (Гомельское месторождение)

Предложены способы применения экранов электромагнитного излучения на основе влагосодержащих волокнистых материалов в целях повышения безопасности биологических объектов, обеспечения защиты информации путем создания локальных экранирующих конструкций и защищенных помещений и снижения радиолокационной заметности наземных объектов.

В приложениях представлены акты внедрения результатов диссертационной работы при выполнении НИР и в учебный процесс.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработана пространственно-временная модель процесса заполнения влагосодержащим наполнителем капиллярно-пористых матриц на основе волокнистых материалов. Показано, что временная зависимость насыщения их жидкостью носит логарифмический характер, а зависимость от вязкости, поверхностного натяжения, размеров и структуры линейная. Максимальный коэффициент влагосодержания волокнистых материалов при этом составляет 0,9, сверхуплотненных машинно-вязанных полотен — 0,75, целлюлозных матриц — 0,85. С использованием тестовых планарных структур и оптической микроскопии показано, что формируемая в результате пропитки гидродисперсная структура содержит большое количество многоострижных нано- и микроразмерных включений, образующихся на границах раздела волокно-жидкость-воздух [8, 14].

2. Исследованы экранирующие свойства влагосодержащих капиллярно-пористых материалов, различных по свойствам и структуре. Показано, что 10 %-ное снижение коэффициента влагосодержания не оказывает заметного влияния на коэффициенты ослабления и отражения ЭМИ. Эффективность экранирования влагосодержащих волокнистых матриц на основе сверхуплотненных машинно-вязанных полотен с коэффициентом влагосодержания 0,72 в диапазоне частот 8...115 ГГц составляет -13...-40 дБ при коэффициенте отражения -3...-13 дБ. Использование в качестве капиллярно-пористой матрицы сверхуплотненных целлюлозных материалов с коэффициентом влагосодержания 0,85 позволяет получить коэффициент ослабления -10...-25 дБ в диапазоне частот 8...115 ГГц при коэффициенте отражения -2...-10 дБ. Экспериментально установлено повышение значения ослабления и снижения отражения ЭМИ влагосодержащими целлюлозными и машинно-вязанными матрицами с увеличением частоты в диапазоне частот 8...115 ГГц. Использование влагосодержащих наполнителей с органическими добавками (высокоатомные спирты) приводит к снижению коэффициента отражения на 0,5...1 дБ и коэффициента ослабления на 1...5 дБ. Волокнистые матрицы, содержащие водные солевые растворы, обеспечивают большие по сравнению с водосодержащим наполнителем коэффициент ослабления (на 5...8 дБ) и коэффициент отражения (на 1...2 дБ) [7, 12, 17, 18, 19].

3. Показано, что использование влагосодержащего наполнителя позволяет равномерно снизить коэффициент спектральной яркости волокнистых материалов на 0,2...0,3 в диапазоне длин волн 350...1050 нм по сравнению с фоновыми характеристиками непропитанного материала [4].

4. Предложены принципы и методы создания модульных конструкций экранов электромагнитного излучения (включая рельефные) на основе влагосо-

держащих волокнистых материалов. Применение многослойных конструкций, содержащих металлический отражающий слой, поглощающий и согласующий слои на основе волокнистых материалов с влагосодержащими и металлическими включениями позволяет получить коэффициент ослабления электромагнитной энергии не выше -30 дБ при коэффициенте отражения $-5 \dots -10$ дБ в диапазоне частот $8 \dots 115$ ГГц. Изготовлены модульные конструкции наборным путем соединением базовых модулей внахлест до получения конструкции необходимой площади. Для временной стабилизации экранирующих характеристик разработанных конструкций использованы многослойные полимерные пленки толщиной 200 мкм, позволяющие значительно снизить испарение влаги (до $0,2\%$ за 30 дней). Для улучшения эксплуатационных характеристик влагосодержащих конструкций экранов ЭМИ на основе волокнистых материалов предложены в качестве наполнителя минеральные рассолы Гомельского месторождения, позволяющие значительно расширить температурный диапазон использования конструкций до $-20 \dots +70^{\circ}\text{C}$ с изменением экранирующих характеристик в небольших пределах (коэффициент ослабления $-10 \dots -40$ дБ, коэффициент отражения $-4 \dots -8$ дБ в диапазоне частот $8 \dots 115$ ГГц) [2, 16, 15, 22].

5. Разработана технология изготовления машинно-вязанных полотен, обладающих пористой уплотненной структурой, на основе полиакрилонитрильных волокон с применением футерного соединения двухслойных полотен на базе производных переплетений на двухфонтурном кругловязальном трикотажном оборудовании 16 класса для экранов электромагнитного излучения. Варьирование параметров заправки позволяет изменять поверхностную плотность вырабатываемых полотен в пределах $600 \dots 1313$ г/м² и максимальный диаметр пор $8 \dots 2$ мкм [1, 3, 6, 7].

6. Разработаны влагосодержащие конструкции экранов электромагнитного излучения на основе волокнистых материалов. Показана возможность их применения для создания интегрируемых панелей, ограничивающих побочные электромагнитные излучения средств вычислительной техники в целях обеспечения защиты информации, снижения их биологического воздействия на живые организмы. Предложено использовать разработанные конструкции экранов для защиты организма человека от излучения мобильных радиотелефонов. Коэффициент ослабления влагосодержащих конструкций экранов ЭМИ толщиной $2,5$ мм составляет не более -10 дБ в диапазоне частот выше 200 МГц. Испытания показали возможность снижения радиолокационной заметности наземных объектов до $2,5$ раз [5, 9–11, 13, 20, 21, 23, 24].

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ***Монография***

1. Борботько Т.В., Колбун Н.В., Лыньков Л.М. Электромагнитные излучения средств телекоммуникаций. Методы защиты, безопасность организма человека / Под ред. Л.М. Лынькова. — Мн.: Тонпик, 2004. — 80 с.

Статьи в научных журналах

2. Украинец Е.А., Колбун Н.В. Экранирующие свойства многослойных конструкций электромагнитных экранов на основе материалов с малоразмерными включениями металлов и жидких сред // Доклады БГУИР. — 2003. — Т.1, №4. — С.118–122.

3. Лыньков Л.М., Богуш В.А., Колбун Н.В., Борботько Т.В., Украинец Е.А. Новые материалы для экранов электромагнитного излучения // Доклады БГУИР. — 2004. — Т.2, №5. — С.152–167.

4. Лыньков Л.М., Борботько Т.В., Колбун Н.В., Хижняк А.В., Чембрович В.Е. Снижение заметности вооружения и военной техники в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах длин волн // Известия военной академии. — 2004. — №3 (4). — С.75–77.

Материалы научных конференций

5. Асаенок И.С., Валенко В.С., Лыньков Л.М., Колбун Н.В. Воздействие микроволновых излучений на клетки крови человека // Медэлектроника-2002. Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии: Труды Международной науч.-техн. конф., Минск, 20–21 ноября 2002 г. — Минск, 2002. — С. 68–70.

6. Колбун Н.В., Терех И.С., Андреенков Д.В. Экраны ЭМИ на основе матриц из пропитанных жидкостным наполнителем волокнистых материалов // Технические средства защиты информации: Материалы I Белорус.-российск. науч.-техн. конф., Нарочь, 19–23 мая 2003 г. — Минск, 2003. — С. 48–49.

7. Колбун Н.В., Терех И.С., Лыньков Л.М. Распределенные в капиллярно-пористых матрицах жидкие поглотители электромагнитного излучения для средств защиты информации // Современные информационные технологии: Материалы VI Международной летней школы-семинара, Браслав, 30 июня–7 июля, 2003 г. — Т. 2. — Минск, 2003. — С. 238–241.

8. Лыньков Л.М., Колбун Н.В., Прудник А.М. Физические основы моделирования процесса пропитки капиллярно-пористых материалов для жидкостно-содержащих экранов ЭМИ // Современные средства связи: Материалы VIII Международной науч.-техн. конф., Нарочь, 2003 г. — Минск, 2003. — С. 133–135.

9. Lynkov L.M., Kolbun N.V., Proudnik A.M., Bogush V.A., Tereh I.S., Borbotko T.V. Rigid electromagnetic shielding structures for video display terminals // *Advanced display technologies: Proc. of The 13th Symposium, Belarus, 7–10 September, 2004.* — Minsk, 2004. — P. 251–254.

10. Лыньков Л.М., Борботько Т.В., Колбун Н.В. Современные методы и средства защиты живых организмов от воздействия электромагнитных излучений // *Міжнародны экалагічны досвед і яго выкарыстанне на Беларусі: Сб. науч. трудов Международной науч.-практ. конф., Витебск, 19 октября 2003 г. / ВФ УО ИСЗ.* — Витебск, 2003. — С. 116–120.

11. Лыньков Л.М., Колбун Н.В., Борботько Т.В. Имитационные экраны электромагнитного излучения для защиты биологических объектов // *Медэлектроника-2003. Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии: Материалы Международной науч.-техн. конф., Минск, 20–21 ноября 2003 г.* — БГУИР, 2003. — С. 125–128.

12. Богущ В.А., Борботько Т.В., Колбун Н.В., Терех И.С., Украинец Е.А. Поглотители электромагнитного излучения для защиты биологических объектов // *Сахаровские чтения 2004 года. Экологические проблемы XXI века: Материалы Международной науч. конф., Минск, 21–22 мая 2004 г.* — Мн.: ОДО Триолета, 2004. — 1 ч. — С. 190–192.

13. Колбун Н.В., Лыньков Л.М., Терех И.С., Богущ В.А., Борботько Т.В. Конструирование экранов электромагнитного излучения для мобильных телефонов и средств вычислительной техники // *Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств: Сб. материалов III Международной науч.-техн. конф. в 2-х томах.* — Новополоцк: ПГУ, 2004. — Т. 1. — С. 67–70.

14. Колбун Н.В., Прудник А.М., Лыньков Л.М., Борботько Т.В. Гравиметрическое исследование временной стабильности жидкостно-содержащих поглотителей ЭМИ // *Технические средства защиты информации: Материалы II Белорус.-российск. науч.-техн. конф., Нарочь, май, 2004 г.* — Минск, 2004. — С. 48–50.

15. Украинец Е.А., Гусинский А.В., Завадский С.М., Колбун Н.В. Комбинированные гибкие конструкции экранов ЭМИ на основе тонких пленок никеля и капиллярно-пористых матриц // *Технические средства защиты информации: Материалы II Белорус.-российск. науч.-техн. конф., Нарочь, май, 2004 г.* — Минск, 2004. — С. 47–48.

16. Колбун Н.В., Лыньков Л.М., Терех И.С. Исследование электропроводящих свойств композиционных материалов с микро- и наноразмерными жидкостными включениями // *Наноструктурные материалы – 2004. Беларусь – Россия: Материалы III Международной научного семинара.* — Минск, ИТМО, 2004. — С. 266–267.

17. Колбун Н.В., Кореневский С.А., Колбун В.С. Измерение характеристик экранирующих материалов в СВЧ-диапазоне // Современные средства связи: Материалы IX Международной науч.-техн. конф., Нарочь, 2004 г. — Т. 2. — Минск, 2004. — С. 155–157.

18. Борботько Т.В., Колбун Н.В., Лыньков Л.М., Терех И.С. Жидкостно-держателе конструкции поглотителей ЭМИ с использованием органических наполнителей // Новые технологии изготовления многокристалльных модулей: Материалы докл. Международной науч.-техн. конф., Нарочь, 27 сентября – 1 октября 2004 г. — Минск, 2004. — С. 132–135.

19. Борботько Т.В., Колбун Н.В., Терех И.С., Лыньков Л.М., Гусинский А.В. Исследование СВЧ-характеристик биологических объектов // Медэлектроника-2004. Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии: Труды Международной науч.-техн. конф., Минск, 9–10 ноября 2004 г. — Минск, 2004. — С. 65–68.

20. Лыньков Л.М., Борботько Т.В., Богуш В.А., Колбун Н.В. Модульные конструкции поглотителей ЭМИ для защиты информации от утечки по электромагнитному каналу // Обеспечение безопасности информации в информационных системах: Материалы конф., Минск, 11 ноября, 2004 г. — Минск, 2004. — С. 92–94.

21. Колбун Н.В., Борботько Т.В., Терех И.С., Фан Н. Занг, Лыньков Л.М. Свойства растворо-содержащих широкодиапазонных поглотителей электромагнитного излучения для технических средств защиты информации // Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных: Материалы докладов Международного науч.-техн. семинара. — Минск: Бестпринт, 2004. — С. 78–84.

Тезисы докладов

22. Лыньков Л.М., Борботько Т.В., Колбун Н.В., Гуров А.И., Захаров В.И. Гибкие модульные конструкции поглотителей ЭМИ с геометрическими неоднородностями // Сб. тезисов IV Международного аэрокосмического конгресса, Москва, 18–23 августа 2003 г. — М.: СИП РИА, 2003. — С. 132.

Патенты

23. Пат. № 1119 ВУ, МПК Н 01 Q 17/00. Поглотитель электромагнитного излучения / Лыньков Л.М., Борботько Т.В., Колбун Н.В. — №u20030142; Заявл. 04.04.2003; Оpubл. 15.10.2003 // Афіцыйны бюлетэнь / Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь.— 2003. — № 4. — С. 322.

24. Пат. 1516 ВУ, МПК Н 01 Q 17/00. Поглотитель электромагнитного излучения / Лыньков Л.М., Борботько Т.В., Колбун Н.В. — №u20040015; Заявл. 14.01.2004; Оpubл. 30.09.2004 // Афіцыйны бюлетэнь / Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь— 2004. — № 3. — С. 267.

РЭЗІЮМЭ

Колбун Наталля Віктараўна. ТЭХНАЛОГІЯ ВЫРАБУ ЭКРАНАУ ЭЛЕКТРАМАГНІТНАГА ВЫПРАМЕНЬВАННЯ НА АСНОВЕ ВІЛЬГАЦЕЎТРЫМЛІВАЮЧЫХ КАПЛІЯРНА-ПОРЫСТЫХ МАТЭРЫЯЛАЎ

Ключавыя словы: электрамагнітнае экраніраванне, звышшчыльненыя валакністыя матэрыялы, тэхналогія, капілярна-порыстыя матрыцы, экраніруючыя характарыстыкі, святлорассяенне.

Аб'ектам даследавання з'яўляюцца вільгацеўтрымліваючыя валакністыя матэрыялы. *Праментам даследавання* з'яўляюцца заканамернасці, механізмы, кінетыка і дынаміка фізіка-хімічных працэсаў, праходзячых ў аб'ёме валакністых матэрыялаў пры замацоўванні ў іх лакальных вільгацеўтрымліваючых аб'ёмаў, і ўплыў выяўленых асаблівасцей на электрамагнітныя характарыстыкі экранаў ЭМВ на іх аснове.

Мэтаю работы з'яўляецца распрацоўка новых экраніруючых матэрыялаў на аснове вільгацеўтрымліваючых звышшчыльненых порыстых цэлолозных матрыц і машына-вязаных полотноў, даследаванне залежнасці іх мікрахвалевых ўласцівасцей ад умоў герметызацыі, эксплуатацыі і распрацоўка на іх аснове экранаў электрамагнітнага выпраменьвання для розных ужыванняў.

Распрацавана тэхналогія вырабу базавага модуля экрана электрамагнітнага выпраменьвання на аснове вільгацеўтрымліваючых звышшчыльненых валакністых матэрыялаў з выкарыстаннем машынна-вязаных палотноў і цэлолозных матэрыялаў. Прапанавана тэхналогія стварэння машынна-вязанага палатна павялічанай шчыльнасці на аснове поліакрыланітрыльных валокнаў, валодаючага высокапорыстай структурай з максімальным каэфіцыентам вільгацапаглынання 0,75.

Прапанавана прасторава-часовая мадэль, якая апісвае кінетыку працэса прапіткі звышшчыльненых валакністых матэрыялаў вільгацеўтрымліваючымі напайняльнікамі і дазволіла высведчыць, што залежнасць насычэння капілярна-порыстай падложкі вадкасцю ад часу носіць лагарыфмічны характар і лінейна залежыць ад памераў і структуры матрыцы, а таксама свойстваў вадкасці. Даследаваны форма і памеры гідрадысперснай структуры, якая фарміруецца ў капілярна-порыстай матрыцы ў выніку дзеяння сіл паверхневага нацяжэння. Паказана наяўнасць мікра- і нанапамерных мнагавастрыяных лакальных вільгацеўтрымліваючых уключэнняў на граніцах падзелу вадкасць – паветра – арганічная матрыца.

Эксперыментальна ўстаноўлены каэфіцыенты вільгацапаглынання звышшчыльненых валакністых матэрыялаў. Паказана залежнасць экраніруючых характарыстык капілярна-порыстых матрыц ад іх вільгацеўтрымання і саставу напайняльніка. Даследаваны спектральныя характарыстыкі светларассяення звышшчыльненых валакністых матэрыялаў. Паказана раўнамернае зніжэнне каэфіцыента спектральнай яркасці пры выкарыстанні вільгацеўтрымліваючага напайняльніка на 0,2...0,3 у дыяпазоне даўжынь хваляў 350...1050 нм незалежна ад палярызацыі падаючага выпраменьвання.

Прапанаваны металы і прынцыпы фарміравання пшматслаёвых наборных канструкцый экранаў электрамагнітнага выпраменьвання з павышанай эфектыўнасцю. Прапанавана выкарыстанне распрацаваных канструкцый для стварэння гібкіх радыёпаглынаючых экранаў у мэтах зніжэння радыёлакацыйнай заметнасці наземных аб'ектаў, а таксама зніжэння ўзроўняў электрамагнітнага выпраменьвання сродкаў тэлекамунікацый і вылічальнай тэхнікі, якое ўплывае на арганізм выкарыстальнікаў.

РЕЗЮМЕ

Колбун Наталья Викторовна. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭКРАНОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ВЛАГОСОДЕРЖАЩИХ КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ключевые слова: электромагнитное экранирование, сверхплотненные волокнистые материалы, технология, капиллярно-пористые матрицы, экранирующие характеристики, светорассеяние.

Объектом исследования являются влагосодержащие сверхплотненные волокнистые материалы. **Предметом исследования** являются закономерности, механизмы, кинетика и динамика физико-химических процессов, протекающих в объеме волокнистых материалах при закреплении в них локальных влагосодержащих объемов, и влияние выявленных особенностей на электромагнитные характеристики экранов ЭМИ на их основе.

Целью работы является разработка новых экранирующих материалов на основе влагосодержащих сверхплотненных пористых целлюлозных матриц и машинно-вязанных полотен, исследование зависимости их микроволновых свойств от условий герметизации, эксплуатации и разработка на их основе экранов электромагнитного излучения для различных применений.

Разработана технология изготовления базового модуля экрана электромагнитного излучения на основе влагосодержащих сверхплотненных волокнистых материалов с использованием машинно-вязанных полотен и целлюлозных материалов. Предложена технология создания машинно-вязанного полотна повышенной плотности на основе полиакрилонитрильных волокон, обладающего высокопористой структурой с максимальным коэффициентом влагопоглощения 0,75.

Предложена пространственно-временная модель, описывающая кинетику процесса пропитки сверхплотненных волокнистых материалов влагосодержащими наполнителями, позволившая установить, что зависимость насыщения капиллярно-пористой матрицы жидкостью от времени носит логарифмический характер и линейно зависит от размеров и структуры матрицы, а также свойств жидкости. Исследованы форма и размеры гидродисперсной структуры, формируемой в капиллярно-пористой матрице в результате действия сил поверхностного натяжения. Показано наличие микро- и наноразмерных многоострильных локальных влагосодержащих включений на границах раздела жидкость – воздух – органическая матрица.

Экспериментально установлены коэффициенты влагопоглощения сверхплотненных волокнистых материалов. Показана зависимость экранирующих характеристик капиллярно-пористых матриц от их влагосодержания и состава растворного наполнителя. Исследованы спектральные характеристики светорассеяния сверхплотненных волокнистых материалов. Показано равномерное снижение коэффициента спектральной яркости при использовании влагосодержащего наполнителя на 0,2...0,3 в диапазоне длин волн 350...1050 нм независимо от поляризации падающего излучения.

Предложены методы и принципы формирования многослойных наборных конструкций экранов электромагнитного излучения с повышенным коэффициентом ослабления и низким коэффициентом отражения. Предложено применение разработанных конструкций для создания гибких радиопоглощающих экранов в целях снижения радиолокационной заметности наземных объектов, а также снижения уровня электромагнитного излучения средств телекоммуникаций и вычислительной техники, воздействующего на организм пользователей.

SUMMARY

Kolbun Natallia Victorovna. THE MANUFACTURING METHODS OF ELECTROMAGNETIC SHIELDS BASED ON LIQUID-CONTAINING CAPILLARY-POROUS MATERIALS

Key words: electromagnetic shielding, ultrathickened fibrous materials, technology, capillary-porous matrixes, shielding characteristics, light-diffusing.

The researches are concerned with liquid-containing ultrathickened fibrous materials. **The investigation subject** is mechanisms, kinetics and dynamics of physical-chemical processes proceeding in fibrous materials volume during fixing local liquid-containing impurities in them and determined features affect on electromagnetic parameters of EMR shields based on them.

The aim of the work is development of new shielding materials based on liquid-containing ultrathickened porous cellulose matrixes and machine-knitted fabrics, investigation of dependence of their microwave properties on encapsulation and operation conditions and producing electromagnetic radiation shields for different applications.

The technology of electromagnetic shield module production based on liquid-containing ultrathickened fibrous materials using and cellulose materials is processed. The technology of manufacture of increased compactness machine-knitted fabrics based on polyacrylonitrile fibers and having a highly-porous structure with maximum humidification coefficient 0,75.

Space-time simulation is offered, which describes the kinetics of liquid-containing fillers impregnating of ultrathickened fibrous materials and showed that the capillary-porous substrate inundation dependence on time has a logarithmic character and linearly depends on matrix dimension and structure. Shape and dimensions of hydrodispersed structure formed in capillary-porous matrix in result of surface tension forces is investigated. Presence of micro and nanodimensional multiedged local liquid-containing impurities at the interfaces liquid-air-organic matrix is shown.

Experimentally humidification coefficients of ultrathickened fibrous materials are measured. Dependence of shielding performance of capillary-porous matrix on its humidification and solution composition is shown. Light-diffusing spectrum characteristics of ultrathickened fibrous materials are investigated. Uniform decrease of spectral luminance coefficient in the presence of liquid-containing filler for 0,2...0,3 in wavelength range 350...1050 nm irrespective of incident radiation polarization is shown.

Methods and principles of multi-layer composing structures of electromagnetic shields with high performance forming are offered. The developed structures can find application for creation of flexible radioabsorbing shields for surface facilities radar observation decrease, lowering of electromagnetic radiation power of telecommunication and computer facilities, impacting users organism.

КОЛБУН НАТАЛЬЯ ВИКТОРОВНА

**ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭКРАНОВ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ
ВЛАГОСОДЕРЖАЩИХ КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Специальность 05.27.06 — "Технология полупроводников и материалов
электронной техники"

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать	22.04.2005.	Формат 60x84 1/16.	Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс».		Печать ризографическая.	Усл. печ. л. 1,86.
Уч.-изд. л. 1,5.		Тираж 65 экз.	Заказ 2.

Полиграфическое исполнение: Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
Лицензия на осуществление издательской деятельности №02330/0056964 от 01.04.2004.
Лицензия на осуществление полиграфической деятельности №02330/0133108 от 30.04.2004.
220013, Минск, П. Бровки, 6.