

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
"БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ"

УДК 621.315.5/.6; 621.318.1

БОРБОТЬКО ТИМОФЕЙ ВАЛЕНТИНОВИЧ

**ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ГИБКИХ КОНСТРУКЦИЙ
ШИРОКОПОЛОСНЫХ ЭКРАНОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ**

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

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Минск 2003

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

Научный руководитель: д. т. н., проф. Лыньков Л.М.
(Учреждение образования "Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники"; кафедра сетей и устройств телекоммуникаций).

Официальные оппоненты: д. х. н., проф. Боднарь И.В.
(Учреждение образования "Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники"; зав. кафедрой химии).
к. т. н., доц. Улановский А.В. (НПРУП "Алевкурп").

Оппонирующая организация: РУП "НИИ технической защиты информации"

Защита диссертации состоится 4 декабря 2003 года в 12 часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.15.03 при Учреждении образования "Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники" (220027, Минск, ул. П. Бровки, 6; ауд. 232, тел. 239 89 89)

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

Автореферат разослан 31 октября 2003г.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации

Электромагнитные излучения пронизывают все пространство Вселенной. В результате жизнедеятельности человечества уровень электромагнитного излучения возрастает на несколько порядков. На протяжении своей жизни человек находится под их, главным образом, негативном воздействии. При этом широкий диапазон частот от единиц Гц до тысяч ГГц такого излучения может влиять на состояние человеческого организма на молекулярном уровне и отражаться на следующих поколениях. В повседневной жизни высокочастотные электромагнитные поля возникают при коммутационных процессах в электрических сетях, устройствах и бытовых приборах. Они представляют серьезную угрозу не только непосредственно пользователям или операторам этих устройств, но и людям, случайно попавшим в опасную зону действия этих излучений. Однако исследований в этой области чрезвычайно мало и однозначных результатов пока не получено.

Побочные электромагнитные излучения и наводки (ПЭМИН), возникающие в различных электронных системах обработки данных, являются потенциальным источником утечки информации по электромагнитному каналу. Так персональный компьютер представляет собой источник высокочастотного электромагнитного излучения. В результате, содержащуюся в компьютере и отображаемую на экране монитора информацию, можно принимать на расстоянии в сотни метров. В настоящее время одними из путей нейтрализации такой утечки являются использование генераторов шума, либо полное экранирование помещения металлическими листами с надежным заземлением. Однако применение генераторов шума приводит к созданию дополнительной неблагоприятной электромагнитной обстановки в защищаемом помещении. Это негативно сказывается непосредственно на самочувствии, здоровье и трудоспособности персонала, находящегося в зоне облучения, и в ряде случаев может привести к сбоям в электронно-вычислительных системах, экранирование металлическими листами защищаемых помещений требует больших экономических затрат и сложного процесса монтажа.

Разработка новейших, так называемых "щадящих" систем вооружения, принцип действия которых основан на использовании сверх мощных импульсов направленной электромагнитной волны, является приоритетным военным курсом ведущих стран мира. Результатом является создание так называемого высокочастотного оружия направленной энергии. В результате его воздействия поверхность тела человека за 2 секунды нагревается до 54°C и достигается эффект болевого шока. Создание электромагнитных бомб, следствием взрыва которых является возникновение мощного электромагнитного импульса, приводит к возможности быстрого уничтожения радиоэлектронных устройств и систем. Одним из самых опасных является "электромагнитный" терроризм, основой которого так же является использование в качестве поражающего фактора энергии

электромагнитного импульса. Устройства, способные создавать такие импульсы, могут приводиться в действие дистанционно с помощью мобильных средств связи, вызывая выход из строя различного электронного оборудования, например, систем контроля и управления атомной электростанцией.

В радиолокации, основанной на передаче и приеме электромагнитных волн, весьма важной задачей является электромагнитная маскировка объектов для снижения их радиолокационной "заметности" и снижение дальности обнаружения.

Вследствие выше описанных причин, одной из важнейших проблем современности, является экранирование электромагнитных полей. Существующие в настоящее время конструкции экранов электромагнитного излучения (ЭМИ) имеют целый ряд недостатков: недостаточно широкий диапазон экранируемых частот, относительно низкая эффективность, высокие стоимость, масса и большие габариты, для их изготовления необходимы специальные материалы. Поэтому разработка технологии производства и создание новых гибких высокоэффективных широкодиапазонных экранов электромагнитного излучения являются актуальными.

Связь работы с крупными научными программами, темами

Работа выполнялась в Белорусском государственном университете информатики и радиоэлектроники в рамках госбюджетных НИР по проекту Министерства образования ГБЦ 02-3037, где автор являлся ответственным исполнителем, проекта 16 ГПФИ "Микроволны".

Цель и задачи исследования

Целью работы является разработка и исследование технологии изготовления гибких высокоэффективных широкополосных экранов электромагнитного излучения на основе химической обработки волокнистых машинно-вязаных полотен, приводящих к инкорпорированию металлосодержащих и водных нано- и микроразмерных объемов межволоконное пространство, для применения в различных областях эксплуатации.

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

- разработать технологические процессы создания микронеоднородностей различной высоты и формы на гибких волокнистых полотнах;
- разработать технологию модифицирования волокнистых материалов путем химического осаждения Co и Co-Ni сплава;
- исследовать экранирующие свойства волокнистых полотен с наполнителями различных составов;
- разработать конструкции широкодиапазонных экранов ЭМИ и исследовать их экранирующие свойства;
- предложить перспективные конструктивные варианты использования разработанных экранов ЭМИ для электромагнитной маскировки наземных объектов, высокоэффективной защиты от: оружия направленной энергии, электромагнитного импульса,

электромагнитного терроризма, радиозкологических воздействий на биологические объекты и утечки информации по электромагнитному каналу.

Объект и предмет исследования

Объектом исследования являются полиакрилонитрильные и целлюлозные волокнистые материалы. Предметом исследования являются закономерности, механизмы, кинетика физико-химических процессов, протекающих в объеме и на поверхности волокнистых материалов, при их модифицировании путем металлизации и пропитки растворными наполнителями, оказывающих влияние на поглощающие характеристики экранов электромагнитного излучения.

Методология и методы проведенного исследования

При решении поставленных задач использовали стандартные методы исследования элементного, фазового состава, микроструктуры и сорбционных, электрофизических свойств материалов.

Контроль элементного и фазового состава, структуры материалов осуществляли методами рентгеновской спектроскопии и рентгенофазового анализа на установках типа ДРОН-3, JVAR-3600. Исследование поверхности проводили методом сканирующей электронной микроскопии. Сорбционные свойства определяли методами химического анализа. Для определения влияния технологии модифицирования на экранирующие характеристики материалов использовали векторные анализаторы цепей и антенную измерительную технику.

Научная новизна и значимость полученных результатов

1. Установлено, что при синтезе кластерных структур методом химического осаждения из водных кобальтсодержащих растворов на волокнах из полиакрилонитрила (ПАН) в его объеме формируются микрокристаллиты кобальта кубической модификации, соединения с серой CoS_2 и Co_4S_3 . Показана возможность синтеза композиционных материалов на их основе с удельным электрическим сопротивлением $\leq 5 \cdot 10^{-2}$ Ом·м.

2. Предложен и разработан новый метод построения композиционных экранов электромагнитного излучения на основе упорядоченных волокнистых материалов с инкорпорированными в межволоконное пространство нано- и микроразмерными объемами водных растворных наполнителей, которые обеспечивают ослабление электромагнитного излучения ≤ 50 дБ в диапазоне частот 0,4-117 ГГц.

3. Показано, что при взаимодействии СВЧ излучения с материалами, содержащими инкорпорированные водные растворные микро- нанообъемы, наблюдается локальное уменьшение уровня в 3 раза отраженного электромагнитного сигнала на резонансных для водосодержащих сред частотах 30 и 97 ГГц. Впервые установлено, что при использовании материалов, содержащих инкорпорированные в межволоконное пространство нано- и микроразмерные объемы водных растворных наполнителей, на этих частотах

наблюдается локальное увеличение уровня отраженного электромагнитного сигнала в 2-3 раза в диапазоне частот 27-117 ГГц.

4. Предложены новые методы и принципы построения гибких широкополосных экранов электромагнитного излучения за счет их модифицирования в результате формирования на поверхности упорядоченных неоднородностей псевдопирамидальной формы, в том числе разновысотных, с линейными размерами более 30 мм. Установлено, что в диапазоне частот 1,2-117 ГГц коэффициент ослабления таких конструкций составляет не менее -30 дБ при значении коэффициента отражения от 16 до 20 дБ.

Практическая значимость полученных результатов

1. Разработан технологический процесс изготовления рельефных машинно-вязаных оснований, позволяющий создавать геометрические неоднородности высотой до 10 мм в едином технологическом цикле.

2. Предложена технология пропитки машинно-вязанных основ, позволяющая инкорпорировать в межволоконное пространство нано- и микрогабаритные объемы водных растворных наполнителей.

3. Разработаны методы и принципы конструирования широкополосных экранов ЭМИ с геометрическими неоднородностями высотой свыше 10 мм и шириной основания более 30 мм из волокнистых материалов, основой которых являются машинно-вязаные полотна с пространственно-распределенными неоднородностями.

4. Разработаны оригинальная методика и технологический процесс создания модульной поглощающей конструкции для электромагнитной маскировки наземных объектов, позволяющей снизить дальность обнаружения радиолокационной цели в 5,6 раза.

Разработанная оригинальная методика и технологический процесс создания модульной поглощающей конструкции для электромагнитной маскировки наземных объектов внедрены в Военной академии Республики Беларусь (г. Минск), а 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. При формировании кобальтсодержащих волокнистых материалов на основе модифицированного полиакрилонитрила методом химической сорбции синтезируются материалы с удельным электрическим сопротивлением $5 \cdot 10^{-2}$ Ом·м.

2. Метод построения гибкого экрана электромагнитного излучения на основе уплотненных волокнистых материалов с инкорпорируемыми в межволоконное пространство нано- и микрогабаритными объемами водных растворных наполнителей позволяет ослаблять электромагнитное излучение до 15 дБ в температурном диапазоне $-20^{\circ}\text{C} + 60^{\circ}\text{C}$.

3. Экспериментально установлено локальное увеличение уровня отраженного электромагнитного сигнала в 2-3 раза на резонансных для водных наполнителей частотах.

тах в волокнистых материалах с инкорпорируемыми в межволоконное пространство нано- и микрогазными объемами.

4. Методы и принципы формирования объемных конструкций на основе упорядоченных неоднородностей псевдопирамидальной формы из наборных жидкообразных, а также кластерных элементов на основе Co и Ni, позволившие создавать гибкие экраны электромагнитного излучения с коэффициентом ослабления до 30÷50 дБ, значением коэффициента отражения ~10÷20 дБ в диапазоне частот 1,2-117 ГГц и уменьшением дальности обнаружения радиолокационной цели в 5,6 раза на частоте 10 ГГц.

Личный вклад соискателя

Содержание диссертации отражает личный вклад автора. Он заключается в подготовке и проведении теоретического анализа современных методов и средств изготовления экранов и поглотителей электромагнитного излучения, подготовке и постановке экспериментов по химическому синтезу, в проведении измерений экранирующих свойств разработанных экранов ЭМИ. Определение цели и задач исследований, интерпретация и обобщение полученных результатов проводилось совместно с научным руководителем д.т.н. Л.М. Лыньковым и соавторами работ д.х.н. В.П. Глыбиным, к.т.н. В.А. Богушем.

Апробация результатов диссертации

Материалы, вошедшие в диссертационную работу, докладывались и обсуждались на VI, VII международных конференциях "Современные средства связи" (Нарочь, 2001 г., 2002 г.), X Республиканской научной конференции студентов, магистрантов и аспирантов "Физика конденсированных сред" (Гродно, 2002 г), X международном симпозиуме "Advanced Display Technology" (Минск, 2001 г), II Международной научно-технической конференции "Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств" (Новополоцк, 2002 г), IX Всероссийской межвузовской научно-технической конференции студентов и аспирантов "Микроэлектроника и информатика - 2002" (Москва, 2002 г), Международном студенческом научно-образовательном форуме "Европа-2002" (Минск, 2002 г), Республиканской научно-практической конференции "Использование информационных ресурсов и сетевых технологий обучения" (Минск, 2002 г), Международной научно-технической конференции "Новые технологии изготовления многокристалльных модулей" (Минск, 2002 г), XVI Международных чтениях "Великие преобразователи естествознания" (Минск, 2002 г), Международной научно-технической конференции "Медэлектроника-2002. Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии" (Минск, 2002 г), Российско-белорусской научно-технической конференции "Технические средства защиты информации" (Нарочь, 2003 г.), научно-технической конференции "Управление информационными ресурсами" (Минск, 2003 г).

Опубликованность результатов

Результаты исследований по теме диссертации опубликованы в 21 печатной работе общим объемом 61 страница. Материалы диссертационной работы отражены в

5 статьях в научно-технических журналах, 12 статьях в сборниках материалов конференций и 3 тезисах докладов конференций. Получено положительное решение о выдаче патента РФ на полезную модель.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав с краткими выводами по каждой главе, заключения, списка использованных источников и приложений. Общий объем диссертационной работы составляет 158 страниц, из которых 83 страницы машинописного текста. Она включает 121 рисунок на 47 страницах, 14 таблиц на 9 страницах, библиографию из 137 наименований на 13 страницах и 3 приложения на 6 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

В первой главе проведен анализ современных методов и средств изготовления экранов и поглотителей электромагнитного излучения.

На основе анализа известных литературных данных описаны принципы электромагнитного экранирования. Рассмотрены основные источники электромагнитного излучения.

Показано, что в большинстве конструкций экранов и поглотителей ЭМИ используются геометрически неоднородные (пирамидообразные) формы поверхности материала, обращенные в сторону падающей электромагнитной волны, за счет чего достигается их высокая эффективность. Однако существенными недостатками множества описанных конструкций является отсутствие гибкости, большая толщина базового модуля, его масса и существенная стоимость.

Установлено, что для изготовления широкополосных экранов ЭМИ перспективно использование многослойной конструкции, каждый из слоев которой имеет собственные магнитные и диэлектрические потери, за счет чего увеличивается ослабление ЭМИ.

Создание экранов ЭМИ является возможным в результате локального закрепления проводящих и магнитных частиц в диэлектрическом связующем методом осаждения микро- и наноразмерных частиц различных материалов, формируемых из них различных микроразмерных блоков.

Во второй главе представлены результаты разработки технологии изготовления в едином технологическом цикле машинно-вязаных оснований с геометрическими неоднородностями на основе волокнистых материалов.

Показано, что для изготовления рельефных машинно-вязаных основ может использоваться стандартное трикотажное плоскофанговое оборудование. Предложено для формирования геометрических неоднородностей на поверхности машинно-вязанных

основ использовать нити разной толщины, а так же прессовые и комбинированные переплетения.

Использование прессовых переплетений позволяет формировать геометрические неоднородности гофрированной формы высотой до 6 мм с расстоянием между их центрами до 10 мм. Расстояние между неоднородностями, в случае использования прессовых переплетений, регулируется путем увеличения или уменьшения индекса прессовой петли (рис. 1). Формирование геометрических неоднородностей псевдопирамидальной формы возможно при использовании комбинированных переплетений, в результате чего высота неоднородностей достигает до 10 мм при расстоянии между их центрами до 10 мм. В случае использования комбинированных переплетений высота неоднородностей зависит от соотношения длины петель глади и ластика, от числа петельных рядов глади при формировании неоднородности (рис. 2).

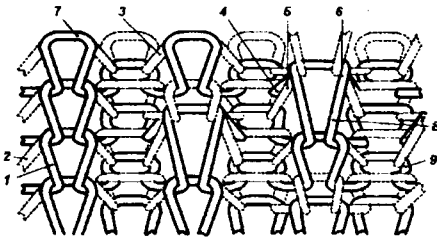


Рис. 1. Строение двойного рельефного прессового переплетения: 1, 6, 7, 8 – прессовые петли, 3, 9 – петли глади, 2, 4, 5 – наброски

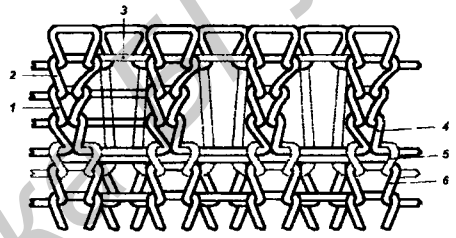


Рис. 2. Строение рельефного ластика: 1, 2, 4 – ряды глади, 3 – изнаночные петли, 5, 6 – ряды ластика

Предложено использовать высокоусадочную нить для снижения растяжимости машинно-вязаного основания и получения формоустойчивой структуры. Установлено, что при различной последовательности провязывания высокоусадочной нити и основной пряжи, геометрические неоднородности получаются как с лицевой, так и с изнаночной сторон полотна.

Исследование экранирующих свойств материалов в радиочастотном диапазоне целесообразно производить с разделением частотного диапазона на несколько поддиапазонов, отличающихся условиями распространения радиоволн, а так же используемой измерительной аппаратурой и методикой измерений. Комплексную оценку эффективности экранов и поглотителей ЭМИ выполняют в безэховой камере, в результате чего можно сравнивать уровни отраженных сигналов от объекта с поглощающей конструкцией и без нее в условиях приближенных к реальным.

В третьей главе представлены результаты разработки технологии химического осаждения кобальта на волокнистый полиакрилонитрил. Осаждение осуществляли из водных растворов с использованием в качестве восстановителя дитионита натрия при температуре $+55^{\circ}\text{C}$. Элементный состав и наличие в синтезированном материале атомов кобальта определяли методом рентгеновской спектроскопии (рис. 3) на установке JVAR-3600 (Jordan Valley Applied Radiation). Идентификацию частиц осуществляли ме-

тодом рентгенофазового анализа (рис. 4) с помощью ASTM картотеки. Для проведения исследований использовалась установка ДРОН-3 с фильтрованным $Su_{K\alpha}$ излучением (длина волны $\lambda=1,5417737 \text{ \AA}$). Установлено присутствие кобальта кубической модификации, соединений кобальта с серой: CoS_2 и Co_4S_3 и модифицированного полиакрилонитрила (рис. 5) в синтезированном материале.

Проведены исследования экранирующих свойств машинно-вязаных оснований с кластерами кобальта в диапазоне частот 80-117 ГГц, показано, что формирование геометрических неоднородностей на поверхности материала позволяет повысить эффективность оснований за счет снижения коэффициента отражения ЭМИ ($K_{отр}=19,4 \div 20,4 \text{ дБ}$).

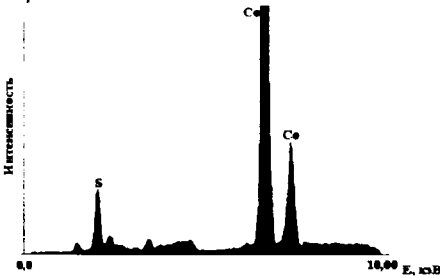


Рис. 3. Результат рентгеновской спектрометрии материала, полученного осаждением кобальта на волокнистый ПАН

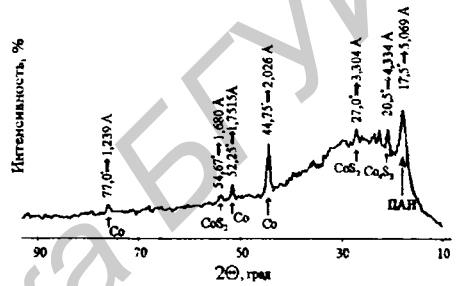


Рис. 4. Дифрактограмма волокнистого ПАН после осаждения кобальта

Представлены результаты разработки технологии химического осаждения Co-Ni сплава на волокнистый полиакрилонитрил, заключающейся в совместном химическом осаждении Co и Ni при температуре $+90^\circ\text{C}$ и $\text{pH}=12$. Показано, что использование различных восстановителей и различной концентрации осаждаемых металлов позволяет получать материалы с управляемым коэффициентом отражения.



Рис. 5. Внешний вид модифицированных ПАН волокон с кластерами кобальта

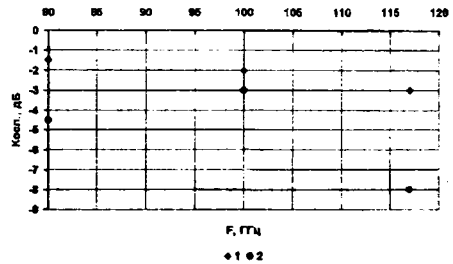


Рис. 6. Зависимость коэффициента ослабления машинно-вязаного полотна с кластерами Co от частоты: 1 – полотно с гладкой поверхностью; 2 – полотно с геометрическими неоднородностями

Исследованы экранирующие свойства машинно-вязаных основ с кластерами никеля в диапазоне частот 80-117 ГГц, выполненных методом химического осаждения из водных растворов. Восстановление никеля в растворе осуществляли гипофосфитом при

температуре 80-90⁰С. Установлено, что наличие геометрических неоднородностей на поверхности материала с кластерами никеля обеспечивает высокую эффективность конструкции, абсолютное значение коэффициента ослабления которой достигает 30 дБ, по сравнению с основой имеющей гладкую поверхность (17 дБ) (рис. 6).

Представлены результаты разработки технологии пропитки машинно-вязаных основ жидкостными наполнителями, позволяющая создавать инкорпорированные нано- и микроразмерные растворные объемы на основе воды в межволоконном пространстве. Отмечено, что пропитка и удержание жидкости внутри полотна происходит за счет сил поверхностного натяжения.

Установлено, что пропитка машинно-вязаных основ жидкостными наполнителями позволяет увеличить их коэффициент ослабления до 40 дБ (рис. 7). Использование различных наполнителей приводит к изменению коэффициента отражения (8÷26 дБ) пропитываемого материала, что дает возможность создания экранов ЭМИ с управляемым коэффициентом отражения.

Исследовано влияние температуры на экранирующие свойства поглотителей ЭМИ. Пропитка машинно-вязаных полотен раствором воды с этиленгликолем и 10% раствором NaCl позволяет сохранять гибкость поглощающих конструкций при температуре -20⁰С, в результате чего коэффициент ослабления составляет не менее 15 дБ (рис. 8).

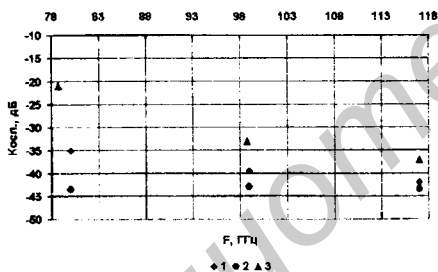


Рис. 7. Зависимость коэффициента ослабления машинно-вязаного полотна пропитанного 10% раствором воды с NaCl от частоты: 1 – полотно с гладкой поверхностью, 2 – полотно с геометрическими неоднородностями, 3 – полотно с геометрическими неоднородностями $t = -20^{\circ}\text{C}$

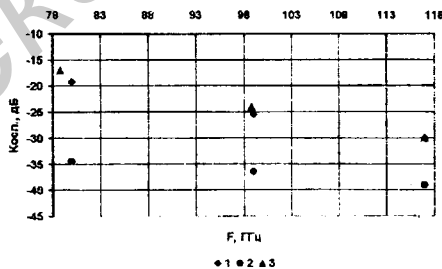


Рис. 8. Зависимость коэффициента ослабления машинно-вязаного полотна пропитанного раствором воды с этиленгликолем от частоты: 1 – полотно с гладкой поверхностью, 2 – полотно с геометрическими неоднородностями, 3 – полотно с геометрическими неоднородностями $t = -20^{\circ}\text{C}$

Экспериментально установлено наличие локального уменьшения коэффициента отражения до значения 4÷7 дБ на частотах 30 и 97 ГГц для жестких конструкций поглотителей ЭМИ с гладкой поверхностью жидкостного наполнителя (рис. 9). Формирование геометрических неоднородностей на поверхности наполнителя высотой 2 мм, расположенных в шахматном порядке с расстоянием 10 мм между их центрами, позволяет снизить коэффициент отражения до величины 10÷21 дБ на этих частотах. Использование различных составов растворных наполнителей позволяет регулировать значение коэффициента отражения для жестких конструкций экранов ЭМИ с геометрическими

неоднородностями в пределах $10 \div 26$ дБ, а для конструкций с гладкой поверхностью в диапазоне $7 \div 16$ дБ.

Установлено локальное увеличение коэффициента отражения на частотах 30 и 97 ГГц при взаимодействии ЭМИ с материалами содержащими инкорпорируемые в межволоконное пространство нано- и микроразмерные объемы водных растворных наполнителей (рис. 10). Использование пирамидальных конфигураций таких поглотителей электромагнитного излучения снижает уровень отраженного электромагнитного сигнала на $5 \div 10$ дБ.

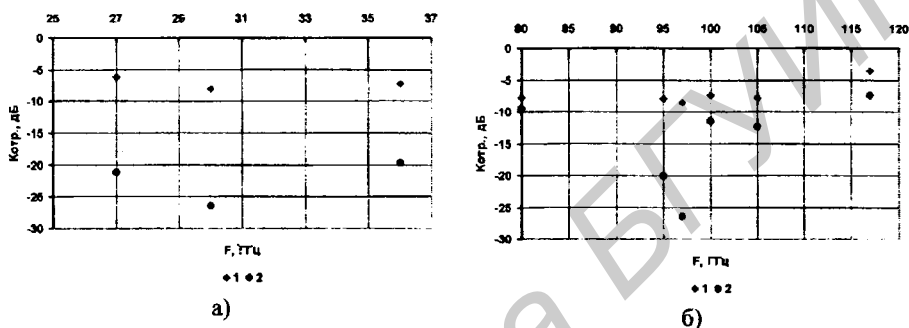


Рис. 9. Зависимости коэффициента отражения воды от частоты: 1 - наполнитель с гладкой поверхностью, 2 - наполнитель с поверхностью псевдопирамидальной формы

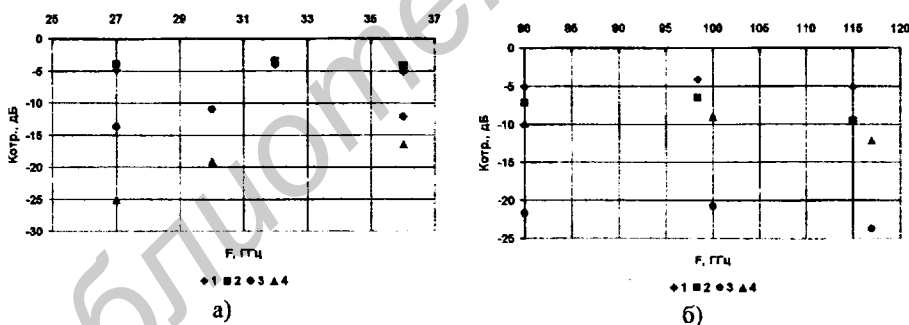


Рис. 10. Зависимость коэффициента отражения машинно-вязаных полотен от частоты: 1 - гладкая поверхность (наполнитель - вода), 2 - гладкая поверхность (наполнитель - вода с этиленгликолем), 3 - высота неоднородностей 5 мм (наполнитель - вода), 4 - высота неоднородностей 2 мм (наполнитель - вода с этиленгликолем)

Разработана многослойная широкополосная Co-Ni конструкция экрана ЭМИ первым слоем, которой является рельефное машинно-вязаное полотно с кластерами кобальта, а вторым слоем служит машинно-вязаная основа с гладкой поверхностью и кластерами никеля, в результате чего коэффициент ослабления составляет не менее 9 дБ в диапазоне частот $1,2 \div 117$ ГГц (рис. 11). Использование в качестве первого слоя машинно-вязаного полотна с геометрическими неоднородностями и кластерами кобальта позволило получить коэффициент отражения не более 10 дБ.

Разработана многослойная широкополосная конструкция экрана ЭМИ с жидкостным наполнителем, первый слой которой представляет собой машинно-вязаное полотно с геометрическими неоднородностями высотой 5 мм, а второй является машинно-вязаной основой с гладкой поверхностью (рис. 12). Такая конструкция позволяет получить коэффициент ослабления ЭМИ более 45 дБ при значении коэффициента отражения 11÷18 дБ. Увеличение высоты неоднородностей первого слоя такой конструкции позволило увеличить коэффициент ослабления ЭМИ.

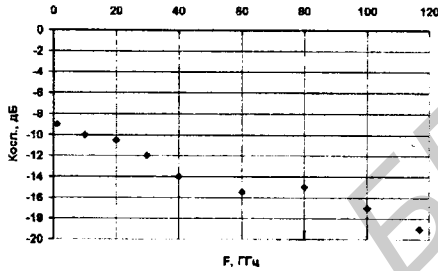


Рис. 11. Зависимость коэффициента ослабления многослойного машинно-вязаного полотна с металлическими кластерами от частоты

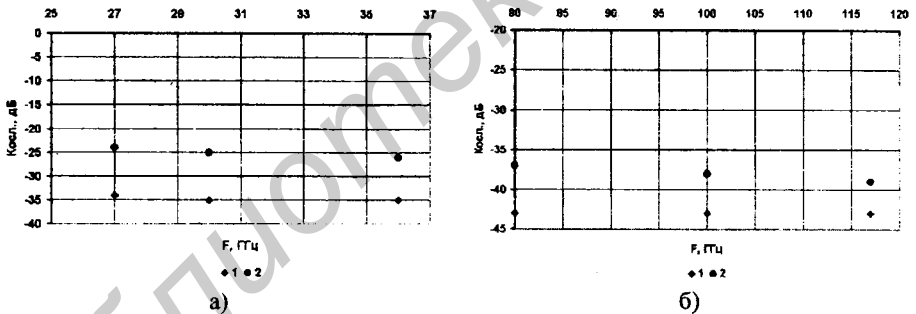


Рис. 12. Зависимость коэффициента ослабления многослойного машинно-вязаного полотна с жидкостным наполнителем от частоты: 1 — полотно с геометрическими неоднородностями высотой 3 мм, 2 — полотно с геометрическими неоднородностями высотой 5 мм

В четвертой главе исследовано влияние геометрических неоднородностей на экранирующие свойства поглотителей ЭМИ. Показано, что увеличение эффективности экранов ЭМИ может быть достигнуто путем использования многослойных конструкций, а так же формированием на поверхности материалов геометрических неоднородностей. Высота геометрических неоднородностей, для экранов пирамидальной формы выполненных на основе диэлектрического материала, увеличивается с уменьшением частоты и определяется минимальной частотой рабочего диапазона.

Представлены качественные представления взаимодействия ЭМИ с гибким поглощающим материалом с геометрическими неоднородностями и металлическими кла-

стерами с электромагнитной волной, а также ЭМИ с поглощающим материалом с рельефной поверхностью и жидкостным наполнителем. Показано, что поглощение ЭМИ происходит за счет переотражения от геометрических неоднородностей, причем каждому переотражению сопутствует переход части энергии падающей электромагнитной волны в тепловую энергию, с последующей ее диссипацией в материале полотна, а переотражение электромагнитной волны совершается в соответствии с соизмеримостью длины волны и размером неоднородностей (рис. 13).

Представлены результаты разработки технологии создания широкодиапазонного экрана ЭМИ на основе волокнистых материалов с жидкостным наполнителем, базовым модулем, которого является машинно-вязаное полотно с геометрическими неоднородностями высотой 10 мм и шириной основания 30 мм, пропитанное раствором наполнителем и герметизированное полиэтиленом. Исследованы экранирующие свойства широкодиапазонного экрана выполненного по разработанной технологии, в процессе которых установлено, что абсолютное значение коэффициента ослабления такой конструкции составляет не менее 30 дБ, при значении коэффициента отражения от 18 дБ (рис. 14).

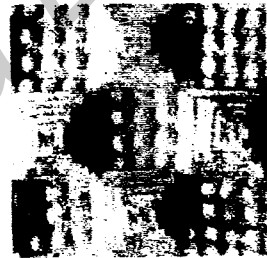
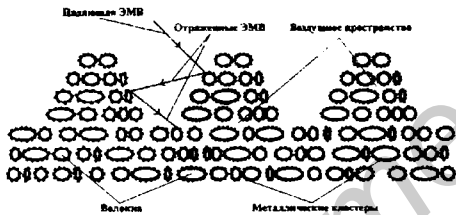


Рис. 13. Качественное представление взаимодействия гибкого поглощающего материала с геометрическими неоднородностями и металлическими кластерами с электромагнитной волной для низкочастотного диапазона (≤ 10 ГГц)

Рис. 14. Фрагмент поверхности разработанного широкодиапазонного экрана ЭМИ с жидкостным наполнителем

Представлены результаты разработки технологии создания многослойного широкодиапазонного экрана ЭМИ на основе волокнистых материалов. В качестве первого слоя такой конструкции предложено использовать машинно-вязаную основу с геометрическими неоднородностями высотой более 10 мм, второй слой выполняется из полотна с гладкой поверхностью толщиной до 6 мм. Оба слоя широкодиапазонного экрана ЭМИ пропитываются раствором наполнителем и герметизируются в отдельности. Многослойная широкодиапазонная конструкция экрана ЭМИ позволила снизить дальность обнаружения радиолокационной цели в 5,6 раза.

Предложены способы применения широкодиапазонных экранов ЭМИ. Показана перспектива создания из разработанных конструкций средств защиты от оружия направленной энергии, электромагнитного импульса, электромагнитного терроризма и утечки информации по электромагнитному каналу, радиозокологических воздействий.

В приложениях представлены таблица заправочных параметров, позволяющая создавать машинно-вязаные основы с геометрическими неоднородностями, акты о внедрении результатов диссертационной работы в производство и учебный процесс. В производство внедрена оригинальная методика и технологический процесс создания гибких поглотителей ЭМИ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработана технология изготовления гибких элементов экранов ЭМИ из машинно-вязаных полотен с геометрическими неоднородностями псевдопирамидальной и гофрированной формы на базе плоскофангового оборудования ПВК-М 6 класса, позволяющая производить до 4 м^2 машинно-вязаного полотна в час. Созданы на базе прессовых переплетений геометрические неоднородности гофрированной формы высотой до 6 мм с расстоянием между их центрами до 8 мм и шириной основания неоднородности до 6 мм. С применением комбинированных переплетений сформированы геометрические неоднородности псевдопирамидальной формы высотой до 10 мм с расстоянием между центрами неоднородностей до 8 мм и шириной их основания до 20 мм [3-9, 16].
2. Разработаны технологии химического осаждения кобальта и Co-Ni сплава на волокнистый ПАН. Методами рентгеновской спектроскопии и рентгенофазового анализа установлено, что на дифрактограмме синтезированного материала с кластерами кобальта кроме пика, обусловленного влиянием подложки – модифицированного ПАН (межплоскостное расстояние 5,069 Å), присутствуют пики, соответствующие металлическому кобальту кубической модификации, а также соединениям кобальта с серой: CoS_2 и Co_4S_3 . Исследованы экранирующие свойства материалов с металлическими кластерами в зависимости от частоты в диапазоне 27-117 ГГц. Показано, что формирование геометрических неоднородностей в форме гофров высотой 5 мм с расстоянием между их центрами 5 мм на поверхности материала с кластерами кобальта позволяет уменьшить значение коэффициента отражения с 15,5 дБ до 18,5 дБ. Установлено, что использование геометрических неоднородностей в форме гофров на поверхности материала с кластерами никеля высотой 5 мм с расстоянием между их центрами 5 мм приводит к увеличению коэффициента ослабления ЭМИ до 30 дБ [1, 10, 12, 16, 18].
3. Предложена технология пропитки машинно-вязаных основ растворными наполнителями, позволяющая создать жидкосодержащие микронеоднородности, удерживающиеся на вертикальных стенках капилляров за счет сил поверхностного натяжения, что позволило увеличить коэффициент ослабления машинно-вязаного полотна до 40 дБ в диапазоне частот 1,2-117 ГГц. Исследовано влияние температуры на экранирующие свойства экранов ЭМИ. Показано, что применение раствора воды с этиленгликолем и водного 10% раствора NaCl позволяет сохранять гибкость

поглощающих конструкций при температуре -20°C , при этом коэффициент ослабления ЭМИ составляет не менее 15 дБ в диапазоне частот 80-117 ГГц. Установлено, что при температуре $+60^{\circ}\text{C}$ коэффициент ослабления машинно-вязаной основы с жидкостным наполнителем не значительно отличается от коэффициенту ослабления при комнатной температуре [3, 13, 14, 16, 19].

4. С использованием измерительной аппаратуры: генератора РГ4-14, измерителя КСВН панорамного Р2-65 (ГКЧ), блока индикаторного Я2Р-70, установлены характерные точки на частотах 30 и 97 ГГц, в которых наблюдается локальное изменение характеристики коэффициента отражения. Показано, что для распределенной жидкости имеет место локального увеличение значения коэффициент отражения с 5 дБ до 4 дБ, а использование пирамидообразных конструкций поглотителей ЭМИ с высотой неоднородностей 5 мм снижает величину коэффициента отражения до 11 ± 21 дБ в случае одинакового состава растворных наполнителей [13, 14, 19].
5. Предложены принципы и методы конструирования широкодиапазонных экранов ЭМИ с геометрическими неоднородностями на основе волокнистых материалов, основой которых являются машинно-вязаные полотна с пространственно-распределенными неоднородностями, на поверхности которых методом сшивания формируют упорядоченные неоднородности псевдопирамидальной формы высотой более 10 мм с шириной основания свыше 30 мм. При использовании в качестве жидкостного наполнителя воды коэффициент ослабления разработанной конструкции составляет не менее 30 дБ при значении коэффициента отражения от 11 дБ до 18 дБ в частотном диапазоне 1,2-117 ГГц [3-5, 21].
6. Предложены наборные модульные конструкции поглотителей ЭМИ. Показана возможность их применения в качестве материала для электромагнитной маскировки наземных объектов с уменьшением дальности обнаружения радиолокационной цели в 5,6 раза. Рассмотрены варианты использования разработанных конструкций экранов ЭМИ для защиты от оружия направленной энергии, электромагнитного импульса, электромагнитного терроризма, радиоэкологических воздействий на биологические объекты и утечки информации по электромагнитному каналу. Разработанная оригинальная методика и технологический процесс создания модульной поглощающей конструкции для электромагнитной маскировки наземных объектов внедрены в Военной академии Республики Беларусь (г. Минск), а результаты диссертационной работы используются в Высшем государственном колледже связи (г. Минск) в учебном процессе в курсах "Охрана труда и промышленная экология" и "Почтовая безопасность" [2, 4, 11, 15-17, 20, 21].

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

Статьи в научно-технических журналах

1. Лыньков Л.М., Глыбин В.П., Богуш В.А., Борботько Т.В. Структура кобальтсодержащих материалов, полученных на основе модифицированного полиакрилонитрила // Доклады НАН РБ. – 2002. – Т. 46, № 3. – С. 120-122.
2. Лыньков Л.М., Борботько Т.В., Сеньковец Е.А., Валенко В.С. Эксплуатация источников электромагнитного излучения // Известия Белорусской инженерной академии. – 2002. - № 1(13)/1. С. 156-158.
3. Лыньков Л.М., Борботько Т.В., Богуш В.А., Колбун Н.В. Конструкции гибких поглотителей электромагнитной энергии СВЧ диапазона // Доклады БГУИР. – 2003. – Т. 1, № 1. – С. 92-101.
4. Лыньков Л.М., Чембрович В.Е., Борботько Т.В. Гибкие конструкции поглотителей для электромагнитной маскировки наземных объектов // Доклады БГУИР. – 2003. – Т. 1, № 2/1. – С. 29..
5. Чембрович В.Е., Хижняк А.В., Борботько Т.В., Колбун Н.В., Терех Н.В., Немцев В.А. Влияние геометрических неоднородностей на электромагнитные свойства экранов и поглотителей ЭМИ // Доклады БГУИР. – 2003. – Т. 1, № 2/1. – С. 29-30.

Статьи в материалах конференций

6. Лыньков Л.М., Борботько Т.В., Сеньковец Е.А. Рулонные технологии для гибких экранов электромагнитного излучения // Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств. - Новополоцк, 2002. – Т. 1. – С. 149-152.
7. Лыньков Л.М., Борботько Т.В., Сеньковец Е.А. Методы формирования упорядоченных неоднородностей для экранирования электромагнитного излучения // Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств. - Новополоцк, 2002. – Т. 1. – С. 152-155.
8. Борботько Т.В., Лыньков Л.М., Богуш В.А., Петрова В.А. Разработка рельефных машинно-вязаных полотен для создания радиопоглощающих покрытий с улучшенными характеристиками // Современные средства связи: Мат. Межд. науч.-техн. конф. / Нарочь, 2001. С. 134-136.
9. Борботько Т.В., Богуш В.А., Лыньков Л.М., Петрова В.А. Гибкие сетчатые экраны изготовленные машинно-вязаным способом // Современные средства связи: Мат. Межд. науч.-техн. конф. / Нарочь, 2001. С. 140-142.
10. Lynkov L.M., Bogush V.A., Glybin V.P., Borbotko T.V. Development and application of nanostructured metallised fiber materials in microwave absorbers // Proceedings of 10th Symposium Advanced display technology, - Minsk, Belarus. - 2001. - P. 167-169.
11. Борботько Т.В. Гибкие радиопоглощающие материалы как средство локализации побочных электромагнитных излучений и наводок // Использование информацион-

- ных ресурсов и сетевых технологий: Мат. Республ. науч.-практ. конф. / Минск, 2002. С. 98-99.
12. Lunkov L.M., Borbotko T.V., Senkovets E.A. Chemical and vacuum deposition of nanosize materials for shields of electromagnetic radiation // Новые технологии изготовления многокристалльных модулей: Мат. Межд. науч.-техн. конф. / Минск-Нарочь, 2002. С. 191-194.
 13. Борботько Т.В. Геометрически неоднородные жидкостносодержащие конструкции для поглотителей электромагнитного излучения // Современные средства связи: Мат. Межд. науч.-техн. конф. / Нарочь, 2002. С. 117-119.
 14. Прудник А.М., Борботько Т.В., Колбун Н.В., Ходыко Н.Г., Власова Г.И. Особенности пропитки анизотропных капиллярно-пористых материалов для экранов ЭМИ // Современные средства связи: Мат. Межд. науч.-техн. конф. / Нарочь, 2002. С. 162-164.
 15. Асаенок И.С., Валенко В.С., Лыньков Л.М., Борботько Т.В., Колбун Н.В. Воздействие микроволновых излучений на клетки крови человека // "Медэлектроника-2002". Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии: Мат. Межд. науч.-техн. конф. / Минск, 2002. С. 68-70.
 16. Лыньков Л.М., Борботько Т.В. Широкодиапазонные экраны энергии ЭМИ для защиты биологических объектов // "Медэлектроника-2002". Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии: Мат. Межд. науч.-техн. конф. / Минск, 2002. С. 70-73.
 17. Лыньков Л.М., Терех И.С., Борботько Т.В., Сеньковец Е.А., Колбун Н.В. Социальная, информационная и психологическая безопасность: техническое обеспечение // Управление информационными ресурсами: Мат. науч.-практ. конф. / Минск, 2003. С. 118-120.

Тезисы докладов

18. Лыньков Л.М., Борботько Т.В. Со содержащие субмикронные кластеры на волокнистых материалах: Тез. докл. 9 межвуз. Всероссийск. конф., Москва, апрель 2002 г. / МИЭТ. – Москва, 2002. – С. 46.
19. Борботько Т.В., Лыньков Л.М. Водосодержащие поглотители электромагнитного излучения: Тез. докл. 10 Республ. науч. конф., Гродно, апрель 2002 г. / ГрГУ. – Гродно, 2002. – С. 43-44.
20. Лыньков Л.М., Борботько Т.В. Техногенные радиоэкологические воздействия на биологические объекты: Тез. докл. XVIII Межд. чтения, Минск, ноябрь 2002 г. / БГУИР. – Минск, 2002. – С. 90-92.

Патенты

21. Лыньков Л.М., Борботько Т.В., Колбун Н.В. Патент С2 ВУ №1119; МПК H01Q11/00. Поглотитель электромагнитного излучения. Заявл. 04.04.2003.

РЭЗЮМЭ

Барбоцька Цімафей Вялянцінавіч

Тэхналогія стварэння гібкіх канструкцый шырокапаалосных экранаў электрамагнітнага выпраменьвання

Ключавыя словы: электрамагнітнае экранаванне, гібкія экраны электрамагнітнага выпраменьвання, валакністыя матэрыялы, хімічнае асаджэнне, прапітка машына-вязальных асноў, экранавальныя характарыстыкі.

Аб'ектам даследавання з'яўляюцца поліакрыланітрыльныя і целюлозныя валакністыя матэрыялы. Прадметам даследавання з'яўляюцца заканамернасці, механізмы, кінетыка фізіка-хімічных працэсаў, працякаючых у аб'еме і на паверхні валакністых матэрыялаў, пры іх металізацыі і прапіткі растворнымі напаўняльнікамі, аказваючых ўплыне на экранавальныя характарыстыкі экранаў электрамагнітнага выпраменьвання.

Мэтаю работы з'яўляецца распрацоўка і даследаванне тэхналогіі вырабу гібкіх шырокапаалосных экранаў электрамагнітнага выпраменьвання на аснове хімічнай апрацоўкі валакністых машына-вязальных палотнаў, прывадзячай к інкарпараванню металзмяшчаючых і водных нана- і мікрапамерных аб'емаў у паміжвалаконнай прасторы, прымяняемых пры разнастайных умовах эксплуатацыі.

Распрацавана тэхналогія стварэння машына-вязальных асноў з геаметрычнымі неаднароднасцямі, фарміраванымі ў адзіным тэхналагічным цыкле. Прапанавана для атрымання геаметрычных неаднароднасцей гафрыраванай формы выкарыстаць прэсавыя перапляценні, а для стварэння геаметрычных неаднароднасцей псеўдапірамідальнай формы – камбінавання перапляценні.

Распрацавана тэхналогія хімічнага асаджэння кобальта на валакністы поліакрыланітрыл шляхам хімічнай сорбцыі іонаў асаджальнага метала з наступным аднаўленнем і асаджэннем з водных раствораў і стабілізацыяй свойстваў кастэрнай структуры. Метадамі рэнтгенаўскай спектраметрыі і рэнтгенафазавага аналізу вызначына прысутнасць ў сінтэзіраваным матэрыяле кобальта кубічнай мадзіфікацыі, злучэнняў кобальта з серай і мадзіфіцыраванага поліакрыланітрыла.

Распрацавана тэхналогія прапіткі машына-вязальных асноў, дазваляючая ствараць інкарпараваныя водныя растворныя аб'емы. Эксперыментальна паказана, што пры ўзасмадзейні электрамагнітнага выпраменьвання з такім матэрыялам, назіраецца лакальнае памяншэнне ўзроўня адбіцця электрамагнітнага сігнала на частотах 30 і 97 ГГц. Вызначана, што пры выкарыстанні матэрыялаў, змяшчаючых інкарпараваныя ў паміжвалаконнай прасторы нана- і мікрапамерныя аб'емы водных растворных напаўняльнікаў, назіраецца лакальнае павялічванне ўзроўня адбітага электрамагнітнага сігнала.

Прапанаваны новыя метады будавання і тэхналогія стварэння гібкіх шырокапаалосных экранаў электрамагнітнага выпраменьвання з улікам фарміравання на іх паверхнасці упарадкаваных неаднароднасцей псеўдапірамідальнай формы, у тым ліку рознавышынных, з лінейнымі памерамі больш чым 30 мкм. Вызначана, што ў дыяпазоне частот 1,2-117 ГГц кафіціент аслаблення такіх канструкцый састаўляе 30 дБ пры значэнні кафіціента адбіцця ад 16 да 20 дБ.

РЕЗЮМЕ

Борботько Тимофей Валентинович

Технология создания гибких конструкций
широкополосных экранов электромагнитного излучения

Ключевые слова: электромагнитное экранирование, гибкие экраны электромагнитного излучения, волокнистые материалы, химическое осаждение, пропитка машинно-вязаных основ, экранирующие характеристики.

Объектом исследования являются полиакрилонитрильные и целлюлозные волокнистые материалы. Предметом исследования являются закономерности, механизмы, кинетика физико-химических процессов, протекающих в объеме и на поверхности волокнистых материалов, при их металлизации и пропитке растворными наполнителями, оказывающих влияние на экранирующие характеристики экранов электромагнитного излучения.

Целью работы является разработка и исследование технологии изготовления гибких широкополосных экранов электромагнитного излучения на основе химической обработки волокнистых машинно-вязаных полотен, приводящих к инкорпорированию металлосодержащих и водных нано- и микроразмерных объемов в межволоконное пространство, для применения при различных условиях эксплуатации.

Разработана технология создания машинно-вязаных основ с геометрическими неоднородностями, формируемыми в едином технологическом цикле. Предложено для получения геометрических неоднородностей гофрированной формы использовать пресовые переплетения, а для создания геометрических неоднородностей псевдопирамидальной формы - комбинированные переплетения.

Разработана технология химического осаждения кобальта на волокнистый полиакрилонитрил путем химической сорбции ионов осаждаемого металла с последующим восстановлением и осаждением из водных растворов и стабилизацией свойств кластерной структуры. Методами рентгеновской спектроскопии и рентгенофазового анализа установлено присутствие в синтезированном материале кобальта кубической модификации, соединений кобальта с серой и модифицированного полиакрилонитрила.

Разработана технология пропитки машинно-вязаных основ, позволяющая создавать инкорпорированные водные растворные объемы. Экспериментально показано, что при взаимодействии электромагнитного излучения с такими материалами, наблюдается локальное уменьшение уровня отраженного электромагнитного сигнала на частотах 30 и 97 ГГц. Установлено, что при использовании материалов, содержащих инкорпорированные в межволоконное пространство нано- и микроразмерные объемы водных растворных наполнителей, наблюдается локальное увеличение уровня отраженного электромагнитного сигнала.

Предложены новые методы построения и технология создания гибких широкополосных экранов электромагнитного излучения за счет формирования на их поверхности упорядоченных неоднородностей псевдопирамидальной формы, в том числе разновысотных, с линейными размерами более 30 мм. Установлено, что в диапазоне частот 1,2-117 ГГц коэффициент ослабления таких конструкций составляет не менее 30 дБ при значении коэффициента отражения от 16 до 20 дБ.

SUMMARY

Borbotko Timopheyy Valentinovich

**Technology of making of flexible constructions
of broadband shields of electromagnetic radiation**

Key words: Electromagnetic shielding, flexible shields of electromagnetic radiation, fibroids, chemical deposition, the impregnation of knitted bases, shielding performances.

The researches are concerned with polyacrylonitrile and cellulose fibroids. An object of research are legitimacies, mechanisms, a kinetics of the physicochemical processes proceeding in volume and on a surface of fibroids, at their metallization and impregnation solutions the filling compounds, shields of electromagnetic radiation influencing shielding performances.

The aim of the work development and examination of manufacturing techniques of pliable broadband shields of electromagnetic radiation is on the basis of a chemical treatment of fibrous knitted cloths, resulting in incorporated water nano- and the microdimensional volumes in the interfibre space, used at various operation conditions.

The technology of making of knitted bases with the geometrical inhomogeneities shaped in a unified work cycle designed. It is offered to use for obtaining geometrical inhomogeneities of the crimped shape press interlacings, and for making geometrical inhomogeneities of the pseudo-pyramid-shaped shape - combined interlacings.

The technology of a chemical deposition of a cobalt on fibrous polyacrylonitrile designed by a chemical sorption of ions of precipitable metal with the subsequent restitution and a deposition from aqueous solutions and stabilization of properties of cluster structure. Methods of a X-ray spectrometry and X-ray structure analysis set presence at a synthesized material of a cobalt of cubic modification, linkings of a cobalt with sulfur and the modified polyacrylonitrile.

The technology of impregnation of the knitted bases designed, permitting to create incorporated water solution volumes. Experimentally it is rotined, that at interaction of electromagnetic radiation with such materials, local diminution's of a level of a reflected electromagnetic signal by frequencies 30 and 97 GHz is watched. It set, that at usage of the materials containing incorporated in interfibre space nano- and the microdimensional volumes water solution of filling compounds, it is watched local magnifications of a level of a reflected electromagnetic signal.

New methods of build-up and technology of making of pliable broadband shields of electromagnetic radiation are offered at the expense of formation on their surface of ranked inhomogeneities of the pseudo-pyramid-shaped shape, including material with different high, with linear dimensions more than 30 mm. It set, that in a frequency band the attenuation factor of such constructions makes 1,2-117 GHz not less than 30 dB at value of a reflectivity from 16 up to 20 dB.

БОРБОТЬКО ТИМОФЕЙ ВАЛЕНТИНОВИЧ

**ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ГИБКИХ КОНСТРУКЦИЙ
ШИРОКОПОЛОСНЫХ ЭКРАНОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ**

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

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук

Подписано в печать 27.10.2003.

Формат 60×84 1/16.

Бумага офсетная.

Гарнитура «Таймс».

Печать ризографическая.

Усл. печ. л. 1,4.

Уч.- изд. л. 1,3.

Тираж 80 экз.

Заказ 541.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Учреждение образования

“Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники”

Лицензия ЛП №156 от 30.12.2002.

Лицензия ЛВ № 509 от 03.08.2001.

220013, Минск, ул. П. Бровки, 6