

Учреждение образования
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

УДК 004.353.2–026.66:661.66

МОХАМЕД
Абдулсалам Муфтах Абулкасем

**КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЭКРАНОВ НА ОСНОВЕ
СОДЕРЖАЩИХ ПОРОШКИ ТЕХНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА
КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.13.19 Методы и системы защиты информации,
информационная безопасность

Минск 2019

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

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

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

Барай Сергей Георгиевич, кандидат технических наук, заведующий НИЛ керамики ГНУ «Институт порошковой металлургии имени академика О.В. Романа» НАН Беларуси

Оппонирующая организация Учреждение образования «Полоцкий государственный университет»

Защита состоится «25» апреля 2019г. в 14.00 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.15.06 при учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, г. Минск, ул. П. Бровки, 6, корп. 1, ауд. 232, e-mail: dissovet@bsuir.by, тел. 293-89-89.

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

Автореферат разослан «21» марта 2019 г.

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



О. В. Бойправ

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

При разработке современных средств защиты информации для подавления электромагнитных излучений (ЭМИ) каналов утечки информации разрабатываются совершенно новые и совершенствуются уже используемые радиопоглощающие и радиоэкранирующие материалы и изделия на их основе. Применение новых видов электромагнитного оружия, совершенствование радарной техники для обнаружения систем военной техники (авиация, морские суда, командные пункты, ракетное вооружение и устройства их имитации) подтверждают необходимость создания новых средств снижения их заметности и защиты от оружия направленной энергии в микроволновом диапазоне длин волн.

Использование углеродсодержащих материалов в виде порошка углеродных нанотрубок, технического углерода, графита, природных форм (шунгит и таурит) характеризуется широким температурным диапазоном их использования, стабильностью эксплуатационных характеристик. Поэтому, исследования, направленные на совершенствование экранов ЭМИ при совместном использовании технического углерода, водных растворов и других различных порошковых наполнителей для создания новых средств защиты информации на их основе, представляются весьма актуальными.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с научными программами (проектами) и темами

Тема диссертационной работы утверждена приказом ректора учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» № 536-о от 06.12.2013 г. и соответствует подразделам 5 «Информатика и космические исследования» и 8 «Многофункциональные материалы и технологии» приоритетных направлений фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2016–2020 гг., утвержденных Постановлением Совета Министров Республики Беларусь 12.03.2015 № 190, и выполнялась в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» на инициативной основе.

Цель и задачи исследования

Цель диссертационной работы состоит в установлении закономерностей влияния различных наполнителей (водосодержащие среды, негорючие краски,

древесина, порошки диоксида титана) в композитных материалах на основе порошков технического углерода на значение ослабления и коэффициента отражения электромагнитного излучения и разработку новых конструкций электромагнитных экранов, выполненных на их основе, характеризующихся эластичностью и пониженной массой на единицу площади.

Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Произвести анализ литературных источников и патентной информации об особенностях взаимодействия электромагнитного излучения с углеродосодержащими материалами и конструкциями экранов электромагнитного излучения на их основе.

2. Разработать методику формирования композиционных материалов на основе порошкообразного технического углерода с различными модифицированными добавками.

3. Исследовать влияние условий формирования композитных материалов на основе порошков технического углерода, водосодержащих сред, других наполнителей и определить оптимальные составы для создания конструкций электромагнитных экранов, характеризующихся эластичными свойствами.

4. Исследовать характеристики спектральной яркости и степени поляризации поверхности конструкций электромагнитных экранов на основе порошкообразного технического углерода в гидрогелевом основании.

5. Разработать, изготовить и исследовать новые конструкции экранов электромагнитного излучения, в том числе и в эластичном (гибком) исполнении для устройств технических средств защиты информации, и оценить эффективность их применения для решения задач защиты информации.

Научная новизна

Установлено снижение коэффициента передачи от -2 дБ до -7 дБ в диапазоне частот $0,7...17$ ГГц экранов электромагнитного излучения, выполненных на основе огнестойких красок, содержащих до 50 % порошков технического углерода, и наносимых на прессованное основание из целлюлозы, характеризующихся резонансным снижением коэффициента отражения до -18 дБ (при использовании металлического отражателя). Показано, что снижение содержания порошков технического углерода в огнестойких красках до 10 % приводит к увеличению коэффициента отражения до -4 дБ в исследуемом диапазоне длин волн. Установлено, что воздействие открытого пламени на экраны ЭМИ, выполненных в виде покрытий на основе порошков технического углерода и диоксида титана, приводит к локальному образованию рутила на поверхности экрана и в совокупности обуславливает изменение

экранирующих свойств таких конструкций электромагнитных экранов в пределах 10 %.

Установлено увеличение удельной электропроводимости конструкций экранов ЭМИ, выполненных на основе композиционных материалов, содержащих порошки технического углерода, пропитанные водными растворами электролитов, от значений $0,8...0,9 \cdot 10^{-3}$ См/м (порошок без пропитки), $0,9...1,2 \cdot 10^{-3}$ См/м (порошок, пропитанный водой) до $1,1...1,4 \cdot 10^{-3}$ См/м (порошок, пропитанный 40%-м раствором хлористого кальция), что обуславливает их коэффициент передач до -40 дБ (при пропитке 40%-м раствором хлористого кальция).

Положения, выносимые на защиту

1. Новая конструкция экрана ЭМИ, выполненная из порошков технического углерода с размером фракций $0,5 \pm 0,2$ мм, который размещен между двумя слоями пористых органических матриц (пенополиуретан), характеризующегося проводимостью $1,2...1,4 \cdot 10^{-3}$ См/м, помещенных в лавсанполиэтиленовом герметике, и коэффициентом передачи -40 дБ и коэффициентом отражения не более -14 дБ (при размещении конструкции на поверхности металлического объекта) в диапазоне частот $0,7...17$ ГГц, за счет пропитки порошка технического углерода водным раствором хлорида кальция с концентрацией не более 50 %, что позволило ее рекомендовать в качестве технического средства защиты информации, обеспечивающего снижение радиуса контролируемой зоны средства вычислительной техники с 8,2 до 5,5 м и обеспечивающего снижение заметности военной техники до 2,5 раз.

2. Новая конструкция экрана электромагнитного излучения, выполненная в виде покрытия из огнестойких красок, наносимых на плоское или пирамидообразное основание (кевлар, прессованная целлюлоза и иглопробивные углесодержащие полотна), характеризующаяся коэффициентом отражения до -22 дБ в частотном диапазоне $0,7...17$ ГГц (при размещении конструкции на поверхности металлического объекта), за счет введения в краску порошков технического углерода (размер фракций $0,5 \pm 0,2$ мм) и диоксида титана (размер фракций $0,05 \pm 0,01$ мм) в соотношении 50 % краски, 25 % технического углерода, 25 % диоксида титана, что позволило рекомендовать ее применение путем нанесения на внутреннюю поверхность защищаемых объектов (помещений) для снижения уровня электромагнитного излучения, размещенной внутри их аппаратуры.

3. Новая конструкция экрана электромагнитного излучения, выполненная на основе композиционного материала, в качестве связующего вещества которого используется гидрогель (не более 60 %), характеризующаяся

коэффициентом отражения до -5 дБ (при размещении конструкции на поверхности металлического объекта) в диапазоне частот $8 \dots 12$ ГГц и коэффициентом спектральной яркости (КСЯ) $0,02 \dots 0,04$ отн. ед. в диапазоне длин волн $400 \dots 1000$ нм, за счет того, что в связующее вещество введен порошок технического углерода (не более 50%), что позволило ее рекомендовать для использования в качестве радиопоглощающего покрытия, наносимого на поверхность военной техники, обеспечивающего контраст по яркости $0,03 \dots 0,25$ по отношению к почве.

Личный вклад соискателя ученой степени

Все основные результаты, изложенные в диссертационной работе, получены соискателем самостоятельно. В совместно опубликованных работах автору принадлежат определение целей и постановка задач исследования; разработка методик создания конструкций экранов электромагнитного излучения на основе технического углерода; проведения исследований экранирующих электромагнитное излучение характеристик, спектральной плотности энергетической яркости, рентгенодифракционный анализ, а также обработка, анализ и интерпретация полученных результатов, формулировка выводов.

Определение целей и задач исследований, интерпретация и обобщение полученных результатов проводились с научным руководителем, доктором технических наук Л. М. Лыньковым, который принимал участие в планировании работ и обсуждении результатов. Полученные при выполнении диссертационной работы данные обсуждались с Т. А. Пулко, Е. С. Белоусовой, О. В. Бойправ, В. А. Богушем, Т. В. Борботько, С. Н. Касаниным, А. М. Прудником, Я. Т. А. Аль-Адеми, Х. А. Э. Айадам, М. С. Х. Аль-Махдави. На все совместно опубликованные с соавторами работы приведены ссылки. Разработка образцов конструкций экранов электромагнитного излучения и их испытание выполнялись совместно с аспирантами Я. Т. А. Аль-Адеми и Х. А. Э. Айадам, магистрантами М. С. Х. Аль-Махдави и В. М. Мулугетой при консультации с доцентами Т. А. Пулко, Е. С. Белоусовой, О. В. Бойправ, С. Н. Касаниным, А. М. Прудником и научным руководителем Л. М. Лыньковым.

Апробация результатов диссертации и информация об использовании ее результатов

Основные положения и результаты диссертации обсуждались на международном научно-техническом семинаре «Телекоммуникации: сети

и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных» (Минск, 2013); Международной научно-технической конференции, приуроченной к 50-летию МРТИ–БГУИР (Минск, 2014); The Youth of the 21st Century: Education, Science, Innovations : materials of the International Conference for Students, Postgraduates and Young Scientists (Vitebsk, 2014); Международном форуме студенческой и учащейся молодежи «Первый шаг в науку» (Минск, 2014); XX, XXI, XXII научно-практических конференциях «Комплексная защита информации» (Минск, 2015; Смоленск, 2016, Новополоцк, 2017); XIII международной научно-практической конференции «Управление информационными ресурсами» (Минск, 2016); XII, XIV, XV Белорусско-российских научно-технических конференциях «Технические средства защиты информации» (Минск, 2014, 2016, 2017); XII Международной конференции «Взаимодействие излучений с твердым телом» (Минск, 2017); VI Международном симпозиуме «Пористые проницаемые материалы: технологии и изделия на их основе» (Минск, 2017).

Опубликование результатов диссертации

Материалы по теме диссертации опубликованы в 1 коллективной монографии, 7 научных статьях в рецензируемых научных журналах в соавторстве (11,4 авторского листа), соответствующих п. 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь.

Опубликовано 11 статей в сборниках материалов конференций, 1 статья в отраслевом журнале, 5 тезисов докладов.

Структура и объем диссертации

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

В первой главе проведен анализ современных технологических методов на основе наноструктурированного технического углерода для пассивных средств защиты информации. Во второй главе приведено обоснование выбора вяжущих материалов для создания углеродсодержащих экранов электромагнитного излучения, изложены методики измерения экранирующих и спектрально-поляризационных характеристик предлагаемых материалов и конструкций, методика измерения уровней мощности электромагнитного излучения, методика исследования свойств огнестойкости, разработанных

элементов конструкций экранов электромагнитного излучения. В третьей главе представлены результаты исследований влияния различных пропиток и добавок на экранирующие характеристики углеродсодержащих порошкообразных материалов; влияние композиционных материалов на основе порошков технического углерода и гидрогеля на характеристики ослабления и отражения электромагнитных волн, а также на спектрально-поляризационные свойства разработанных композиционных материалов. В четвертой главе содержатся описания базовых технологических процессов формирования экранов ЭМИ для различных применений на основе порошкообразного технического углерода.

Общий объем диссертационной работы составляет 160 страниц, из них 144 страницы основного текста, 99 рисунков на 48 страницах, 12 таблиц на 6 страницах, библиографический список из 209 источников, включая 25 собственных публикаций автора, на 4 страницах.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В **первой главе** на основании анализа литературных данных и патентных источников об особенностях применения пассивных средств защиты информации показано, что на современном уровне развития общества создаются активные и пассивные средства для обеспечения несанкционированного доступа и новых воздействий на функционирование информационных технических систем. Основным видом противодействия является как скрытие объектов управления от обнаружения, так и техническая защита путем создания новых материалов, снижающих уровень воздействий, и построения на их основе новых защитных конструкций (изделий). Показано, что для скрытия объектов в микроволновом диапазоне длин волн весьма перспективным методом является использование углеродсодержащих порошкообразных материалов, размещаемых в различных связующих (клеи, краски, пластмассы и др.). Наиболее низкостойкими представляются порошки на основе технического углерода (сажа), которые в сочетании с другими порошкообразными материалами, характеризующимися диэлектрическими и магнитными свойствами, позволяют создавать на их основе электромагнитные экраны в виде строительных материалов (бетоны, штукатурки и т. п.), заполняемых контейнеров и других конструкций. Данные электромагнитные экраны характеризуются резонансным поглощением ЭМИ в зависимости от особенностей конструкции и используемых материалов. Для различных применений электромагнитных экранов весьма перспективно использование водосодержащих поглотителей для создания широкодиапазонных укрывных материалов, в том числе для снижения дальности обнаружения объектов

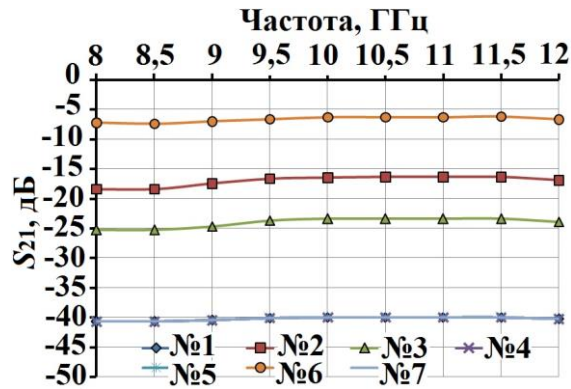
разведывательными службами, а также для снижения разрушительного воздействия широкодиапазонными импульсными помехами, энергия которых будет расходована на нагрев водосодержащих сред. Показано, что формирование систем «технический углерод – вода (водные растворы)» представляет собой весьма перспективную основу для создания низкостоимостных широкодиапазонных экранов электромагнитного излучения как в виде стационарных, так и мобильных технических средств защиты информации.

Во **второй главе** сделано заключение о необходимости дальнейшего изучения процессов создания углеродсодержащих эмалевых и огнезащитных красок и клеев с добавлением порошков титаномагнетита, силикагеля, диоксида титана. Исследования спектральных характеристик яркости влагосодержащих капиллярно-пористых материалов в оптическом диапазоне длин волн 440...940 нм и 1100...2300 нм проводились на гониометрической установке с использованием спектрополяриметра Гемма МС-09. Для измерения спектральной плотности энергетической яркости (СПЭЯ) образцов была применена искусственная подсветка исследуемого материала. Для исследования характеристик ослабления и коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне частот 8...12 ГГц использовался панорамный измеритель ослабления и КСВН Я2Р-67 с ГКЧ-61, в диапазоне 0,7...17 ГГц – измерительный комплекс SNA 0,01–18. Для оценки ослабления мощности на основе вышеуказанного измерительного комплекса применяли измерители мощности ЭМИ РМ 0,01...39,5. При этом уровень мощности менялся от 1 до 5 мВт. Испытание огнестойкости осуществлялось воздействием открытого пламени технической горелки ПАЛИР температурой 1700 °С на расстоянии 17 мм на поверхность конструкций экранов ЭМИ.

Третья глава посвящена исследованиям разработанных экранов электромагнитного излучения на основе порошков технического углерода с различными наполнителями. Показано, что пропитка водой порошков технического углерода, приводит к снижению коэффициента передачи до –15 дБ. Проведено исследование влияния пропитки порошков технического углерода водными растворами этиленгликоля, хлористого кальция, хлористого магния, поливинилового спирта, этилового спирта и поверхностно-активным веществом (рисунок 1).

Показано, что значение коэффициента передачи (S_{21}) в зависимости от материала пропитки составляет величину от –7 дБ (наполнитель – этиловый спирт) до –40 дБ (наполнитель вода и 45 % водные растворы хлористого кальция и хлористого магния). Установлено равномерное повышение значений удельной проводимости исследуемых образцов от $0,8...0,9 \cdot 10^{-3}$ См/м (порошкообразный технический углерод) до $0,9...1,2 \cdot 10^{-3}$ См/м (пропитанный

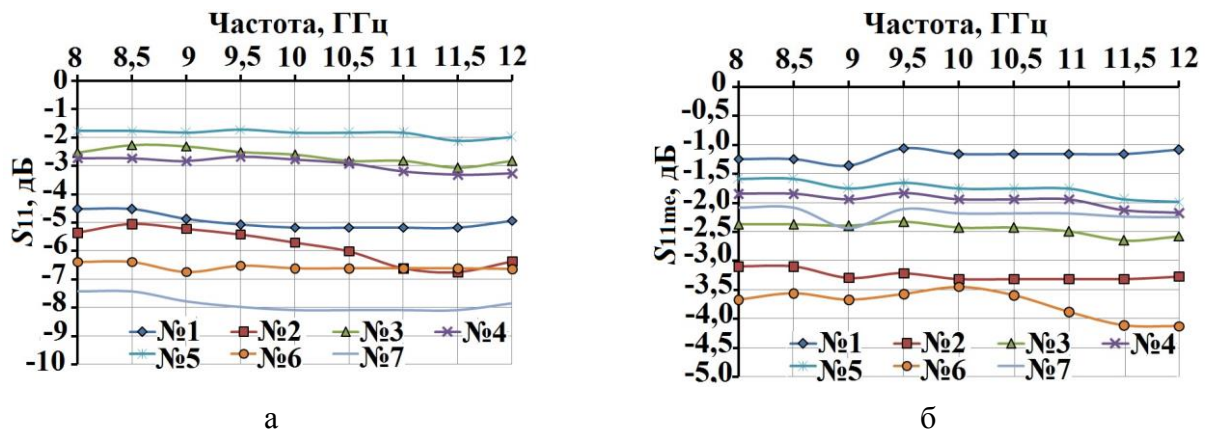
водой технический углерод) и до $1,1...1,4 \cdot 10^{-3}$ См/м (пропитанный водным раствором CaCl_2 технический углерод). Разгерметизация образцов приводит к повышению коэффициента передачи на 5 дБ и к незначительному уменьшению коэффициента отражения (на 0,5 дБ) в диапазоне частот 8...12 ГГц.



№ 1 – вода; № 2 – этиленгликоль; № 3 – 45 % масс. раствор кальция хлористого;
 № 4 – 51 % масс. раствор магния; № 5 – поливиниловый спирт;
 № 6 – этиловый спирт; № 7 – ПАВ

Рисунок 1. – Частотные зависимости коэффициента передачи технического углерода, пропитанного растворами, в диапазоне частот 8...12 ГГц

Значение коэффициента отражения (S_{11}) составило величину -4 дБ и менее при условии использования металлического отражателя для всех образцов (рисунок 2).



№ 1 – вода; № 2 – этиленгликоль; № 3 – 45 % масс. раствор кальция хлористого;
 № 4 – 51 % масс. раствор магния; № 5 – поливиниловый спирт;
 № 6 – этиловый спирт; № 7 – ПАВ

а – в режиме согласованной нагрузкой; б – при использовании металлического отражателя

Рисунок 2. – Частотные зависимости коэффициента отражения, измеренного технического углерода, пропитанного растворами, в диапазоне частот 8...12 ГГц

Разгерметизация образцов приводит к повышению коэффициента передачи на 5 дБ и к незначительному уменьшению коэффициента отражения (на 0,5 дБ) в диапазоне частот 8...12 ГГц.

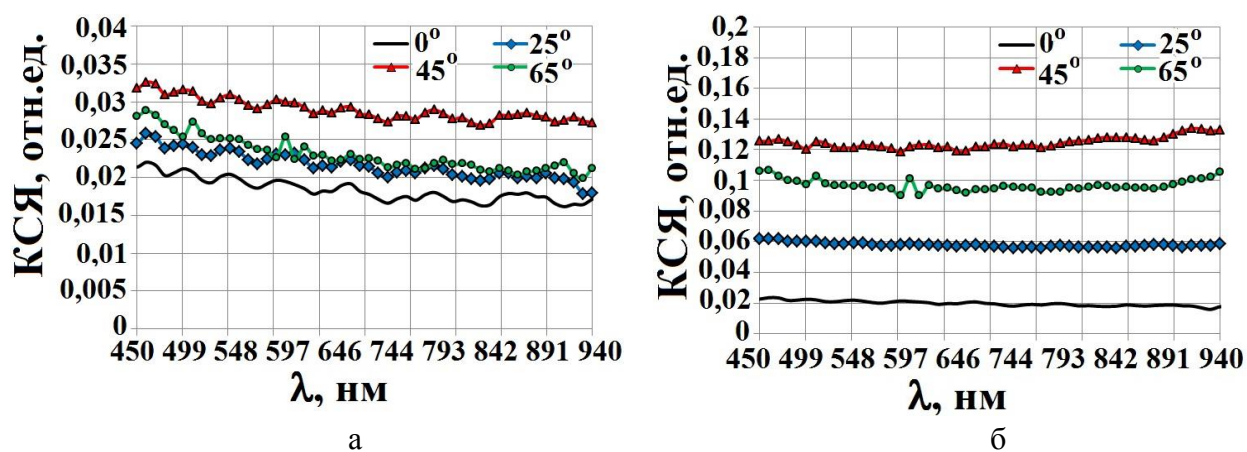
Предложено изготовление бетонов на основе порошков технического углерода, воды, насыщенных водных растворов хлорида кальция и измельченной древесины. Показано, что с повышением концентрации углерода коэффициент передачи снижается до -15 дБ (40 % масс. технического углерода). С увеличением толщины образцов до 6 мм коэффициент передачи составляет -40 дБ (40 % масс. технического углерода). Совместное использование порошка технического углерода и водных растворов хлористого кальция характеризуется коэффициентом передачи -18 дБ и коэффициентом отражения -9...-14 дБ в диапазоне частот 8...12 ГГц для образцов с водосодержанием 10 % массовой долей углерода при условии использования металлического отражателя. Показано, что введение измельченной древесины в бетоны характеризуется коэффициентом передачи -18 дБ и менее и коэффициентом отражения -8,5 дБ и более при условии использования режимов короткого замыкания. Введение измельченной древесины приводит к снижению массы (образец размером 1 м² соответствует массе от 3,5 до 2,5 кг при толщине 3 мм). Введение в бетоны водных растворов хлорида кальция приводит к увеличению массы (образец 1 м² соответствует массе порядка 3,5 кг при толщине 3 мм) за счет увеличения водосодержания.

Предложено изготовление композиционных материалов для экранов ЭМИ на основе огнестойких красок с введением в их состав порошка технического углерода, перлита и диоксида титана путем их нанесения на подложки из металла и целлюлозы. Показано, что композиционные покрытия на их основе характеризуются значением коэффициента отражения -2,5...-18,2 дБ. При этом наименьшим значением коэффициента отражения характеризуется трехслойная конструкция экрана ЭМИ при соотношении 50 % содержания перлита и технического углерода в огнезащитной краске («Агнитерм»). Масса 1 м² экрана трехслойной конструкции составила 1,72 кг. Введение порошков технического углерода и диоксида титана характеризуется значением коэффициента отражения -6 дБ при условии нанесения на металлическую подложку в диапазоне частот 8,0...12,0 ГГц.

Разработана методика введения порошков технического углерода в полиэлектролитные гидрогели на основе водорастворимого сополимера акриламида и натриевой соли акриловой кислоты. Экспериментально установлена неравномерность распределения порошка технического углерода в гидрогеле при уменьшении содержания порошка.

Полученные композиционные материалы характеризуются коэффициентом передачи -26 дБ и наименьшим значением коэффициента отражения -5 дБ в частотном диапазоне $8...12$ ГГц.

Исследования спектрально-поляризационных свойств композитов на основе порошков технического углерода в гидрогеле показали, что значение КСЯ таких материалов характеризуется равномерной зависимостью в частотном диапазоне $400...900$ нм и составляет величину $0,027$ отн. ед. для образцов с максимальным содержанием порошка углерода на поверхности и величину $0,14$ отн. ед. для стороны образцов гидрогеля и сопутствует влажным почвам серовато-бурого цвета (рисунок 3) с расчетным значением степени контрастности $0,03...0,85$ отн. ед.



а – рабочая поверхность; б – обратная поверхность

Рисунок 3. – Зависимость спектрального коэффициента яркости от длины волны в видимом диапазоне для угла падения света 45° при углах наблюдения 0° , 25° , 45° и 65° для композита на основе порошка технического углерода (40 %) и гидрогеля

Разработана методика введения жидкосодержащих взвесей углеродсодержащих порошков в волокнистые материалы (на примере трикотажа, хлопчатобумажных и синтетических полотен) с последующим удалением жидкой составляющей методом термообработки (сушки) образцов (температура до 50°C). Установлено, что добавление клеевых растворов в порошок технического углерода и их введение в синтетические полотна и эластичные пенополиуретановые основы позволяет сформировать эластичные конструкции экранов ЭМИ, характеризующиеся коэффициентом передачи -20 дБ и коэффициентом отражения -14 дБ в диапазоне частот $8...12$ ГГц с увеличением веса материала на 10 % (рисунок 4).



а – поверхности; б – поперечного среза

Рисунок 4. – Цифровая микрофотография синтетического материала, пропитанного водным раствором с добавлением технического углерода

В четвертой главе приведены результаты по исследованию экранирующих электромагнитное излучение содержащих технический углерод модулей и рекомендации по их использованию, разработана методика создания экранов ЭМИ на основе покрытий из огнезащитных красок с добавками порошкообразного технического углерода, наносимых на плоские и пирамидообразные целлюлозные основания, кевлар в виде полотна (рисунок 5) и др.

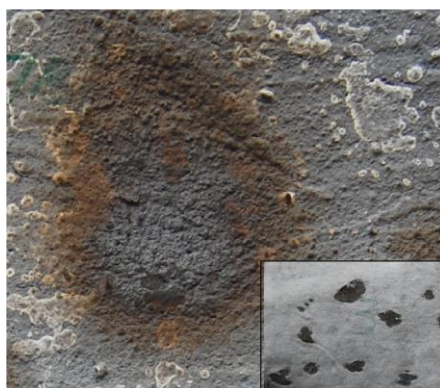
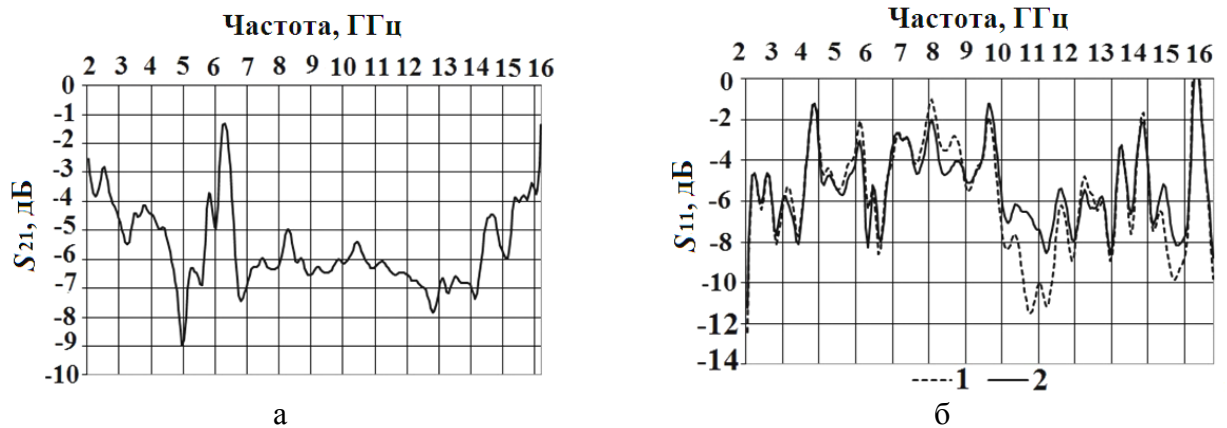


Рисунок 5. – Фрагмент образца широкоформатного углеродсодержащего экрана ЭМИ на основе огнезащитных красок и углеродсодержащей смеси «технический углерод–TiO₂» после воздействия открытого пламени (лицевая сторона экрана ЭМИ)

Показано, что с увеличением массовой доли порошка технического углерода до 50 % наблюдается резонансное значение коэффициента отражения до $-13...-18$ дБ на частоте $6...7$ ГГц при использовании металлического отражателя (рисунок 6).



**1 – измерения со стороны нанесенного огнезащитного покрытия;
2 – измерения со стороны материала основы
а – коэффициент передачи ЭМИ; б – коэффициент отражения ЭМИ
при использовании металлического отражателя**

Рисунок 6. – Частотная зависимость экранирующих характеристик образца широкоформатного углеродсодержащего экрана ЭМИ на основе углеродсодержащей смеси «технический углерод–TiO₂» после воздействия высокотемпературного пламени в частотном диапазоне 2 ... 17,0 ГГц

Экраны ЭМИ на основе огнестойких красок с добавлением порошка технического углерода на пирамидообразном основании характеризуются в диапазоне частот 0,7...17 ГГц коэффициентом отражения $-9...-22$ дБ с резонансом $-0,5$ дБ на частотах 5...8 ГГц до $-0,5$ дБ.

Как показал рентгеноструктурный анализ, при воздействии высокотемпературного пламени на поверхность образцов экранов ЭМИ входящий в их состав технический углерод переходит в аморфную фазу.

На рисунке 7 представлен внешний вид разработанного модуля экрана электромагнитного излучения на основе двухслойных гибких пластин эластичного пенополиуретана с техническим углеродом, пропитанным водным раствором CaCl_2 , размещенным между пластинами, закрепленного в лавсанполиэтиленовой пленке. Вес 1 м^2 такого экрана электромагнитного излучения составляет 2,1 кг. Получены частотные зависимости коэффициентов передачи и отражения для данной конструкции в диапазоне частот 2...17 ГГц. Коэффициент передачи в диапазоне частот 2...17 ГГц для экрана электромагнитного излучения на основе гибкого эластичного пенополиуретана, пропитанного водным раствором CaCl_2 с техническим углеродом, составляет $-9,7...-14$ дБ, при расположении листа пенофола за исследуемым экраном коэффициент передачи уменьшается до значений $-13...-38$ дБ (рисунок 8).

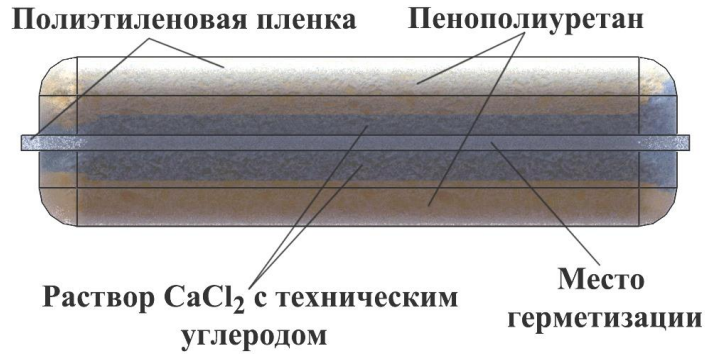
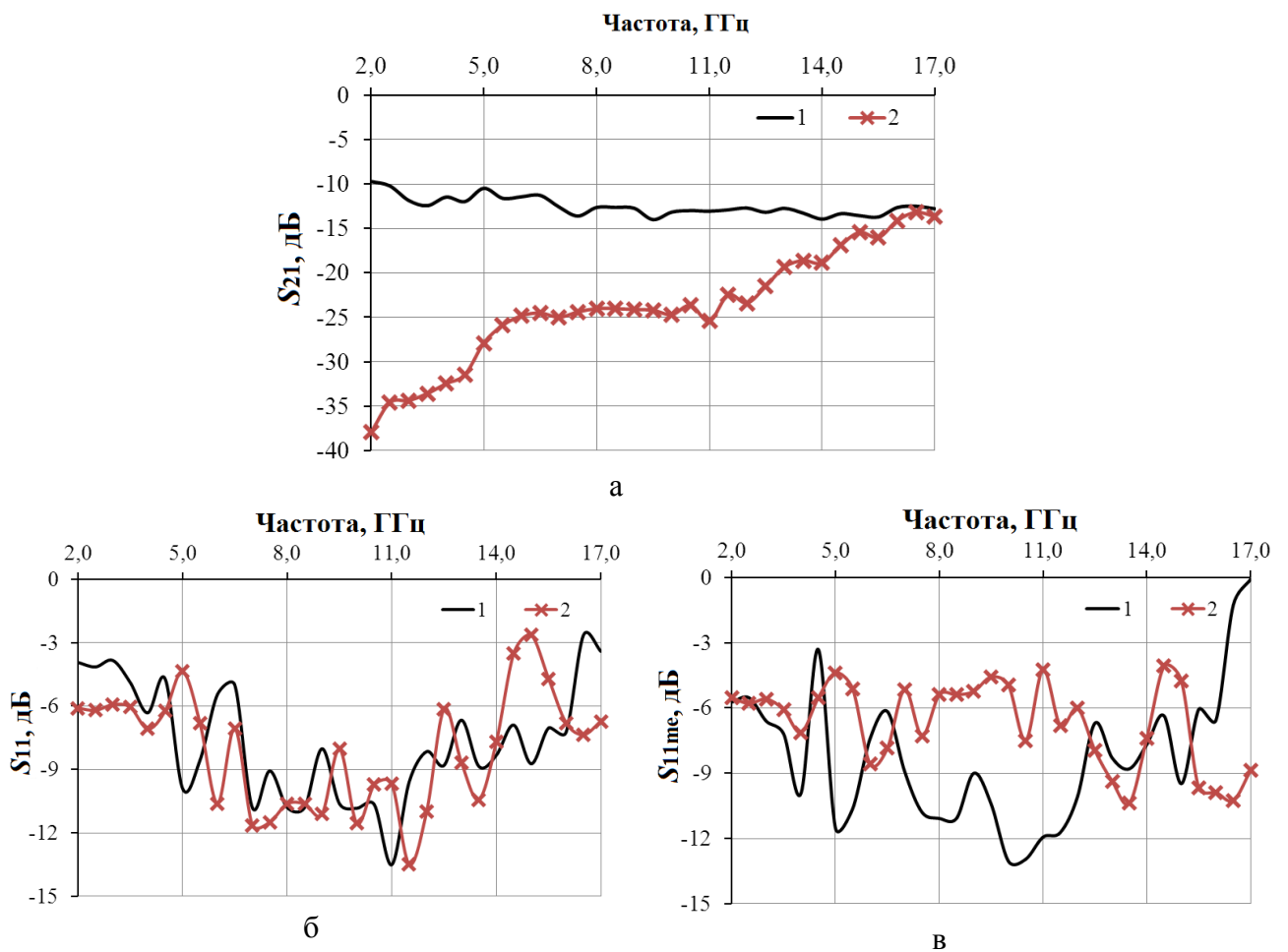


Рисунок 7. – Схема изображения модуля гибких конструкций экрана электромагнитного излучения на основе гибкого эластичного пенополиуретана, пропитанного водным раствором CaCl_2 с техническим углеродом



1 – влагосодержащий технический углерод;

2 – влагосодержащий технический углерод на пенофоле

а – коэффициент передачи ЭМИ; б – коэффициент отражения ЭМИ;

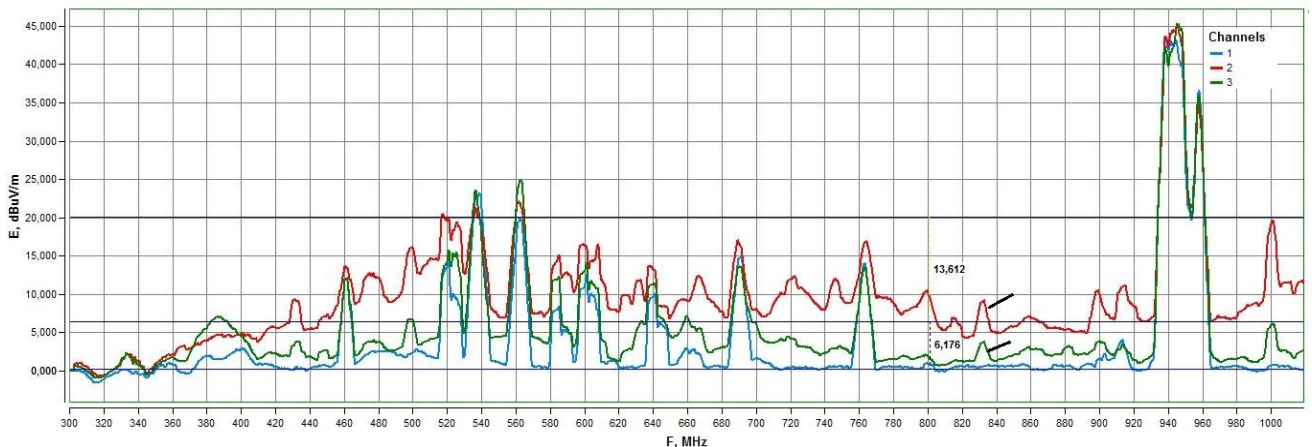
в – коэффициент отражения ЭМИ при использовании металлического отражателя

Рисунок 8. – Частотные характеристики гибких конструкций экранов электромагнитного излучения на основе влагосодержащего технического углерода в диапазоне частот 2 ... 17 ГГц

Коэффициент отражения, измеренный в режиме согласованной нагрузки, составляет $-2,6 \dots -13,5$ дБ с установкой листа пенофола и без него.

Проведено исследование влияния наборных электромагнитных экранов (толщина 7 мм) на основе водных растворов порошков технического углерода на дальность обнаружения радиолокационной станцией доплеровского типа. На основании экспериментальных данных расчетным методом показана возможность снижения дальности обнаружения движущегося объекта (углоковый отражатель) до 2,5 раз при его укрытии данным экраном.

Исследовано влияние укрывных материалов на ослабление мощности ЭМИ системного блока персонального компьютера. Измерения уровней ЭМИ системного блока персонального компьютера проводились в диапазоне частот от 300 до 1000 МГц (рисунок 9). Уровень ЭМИ системного блока ПК снижается до 10 дБ, что вызвано увеличением потерь на переотражение и поглощение в материале. При этом энергия сигнала при использовании разработанных модулей экранов ЭМИ уменьшается на 5,7 дБ.



1 – электромагнитный фон в помещении; 2 – электромагнитный фон при включенном системном блоке ПК; 3 – электромагнитный фон при экранировании включенного системного блока ПК эластичной конструкцией экрана ЭМИ на основе пенополиуретана, пропитанного водным раствором CaCl_2 с техническим углеродом
Рисунок 9. – Спектральная характеристика электромагнитного излучения системного блока персонального компьютера

На основании экспериментальных данных по снижению значений напряженности побочных электромагнитных излучений системного блока компьютера, располагаемого в неэкранированном помещении, расчетным методом показана возможность снижения радиуса контролируемой зоны ПЭМИ от 8,2 до 5,5 м за счет экранирования средств обработки информации электромагнитными экранами на основе пропитанных в водных растворах порошков технического углерода.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Впервые предложено использование для создания электромагнитных экранов композитных материалов на основе порошков технического углерода и водосодержащих сред, размещаемых между слоями пористых органических матриц, методом герметизации, характеризующихся проводимостью $1,2 \dots 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ См/м}^2$. Показана возможность создания эластичных конструкций экранов электромагнитного излучения на их основе, характеризующихся коэффициентом отражения до -15 дБ в интервале частот $0,7 \dots 17 \text{ ГГц}$ и коэффициентом передачи до -40 дБ . Показано, что спектрально-поляризационные свойства композитов на основе порошков технического углерода в гидрогеле характеризуются равномерной зависимостью коэффициента спектральной яркости в частотном диапазоне $400 \dots 900 \text{ нм}$ и составляют величину $0,027 \text{ отн. ед.}$ для образцов с максимальным содержанием порошка углерода на поверхности и величину $0,14 \text{ отн. ед.}$ для стороны образцов гидрогеля и соответствует влажным почвам серовато-бурого цвета с расчетным значением степени контрастности $0,03 \dots 0,25 \text{ отн. ед.}$, что может быть предложено для использования в качестве имитаторов природных сред для одновременного скрытия от микроволновых и оптических средств обнаружения [1, 4, 6, 13, 18, 22].

2. Предложена методика создания экранов электромагнитного излучения на основе композитов из технического углерода, измельченной древесины, порошков диоксида титана, перлита в различных пропорциях и вяжущих материалов (клей, цемент), что позволило формировать твердотельные и эластичные конструкции экранов электромагнитного излучения, характеризующиеся массой на единицу площади (от $0,2 \text{ кг/м}^2$ при закреплении порошков технического углерода в иглопробивных материалах), твердотельные конструкции экранов электромагнитного излучения в виде бетонов, содержащие порошок технического углерода и измельченную древесину, порошки перлита, характеризующиеся массой на единицу площади ($1 \text{ кг на } 1 \text{ м}^2$) и коэффициентом отражения $-7 \dots -10 \text{ дБ}$ в диапазоне частот $0,7 \dots 17 \text{ ГГц}$ при коэффициенте передачи -17 дБ [1, 2, 3, 8, 14, 16].

3. Проведен комплекс исследований по изучению влияния введения порошков технического углерода и диоксида титана в состав огнестойких красок на экранирующие электромагнитные характеристики таких покрытий на различных основаниях (кевлар, целлюлозное полотно, текстильные материалы и другие). Показано, что воздействие открытого пламени (газовая

горелка 1700 °С) на поверхность красок приводит к формированию на их поверхности кокса, содержащего рутил, что позволило установить возможность стабилизации характеристик отражения и ослабления (коэффициента передачи) в пределах 10 % от первоначальных значений [1, 4, 7, 10, 11, 12, 13, 24].

4. Предложены новые конструкции экранов электромагнитного излучения, содержащие на поверхности объемные контейнеры, заполняемые смесями порошков технического углерода с различными наполнителями и располагаемые на гибком основании с массой на единицу площади от 1,3 кг на 1 м². Показано, что в зависимости от расположения образцов относительно измерительной антенны коэффициент отражения характеризуется значениями от –5 до –15 дБ при вертикальном размещении контейнеров прямоугольной формы и от –35 до –15 дБ при их горизонтальном размещении при одинаковых значениях коэффициента передачи –6...–12 дБ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц [1, 5, 6, 9, 15, 17, 25].

Рекомендации по практическому использованию результатов

1. Впервые предложены и разработаны технические рекомендации по созданию конструкций электромагнитных конструкций экранов на основе низкостойких порошков технического углерода, водосодержащих сред, располагаемых в локальных контейнерах, которые закрепляются на поверхности гибких оснований (на примере клеевых соединений), что позволяет их использование в качестве мобильных средств для технических средств защиты информации (размер модулей до 1 м²) [1, 19, 20].

2. Разработаны экраны электромагнитного излучения на основе огнезащитных красок (на примере красок «Агнитерм») на поверхности кевлара, целлюлозы, что позволяет их использование в качестве покрытий для различных мобильных объектов, эксплуатируемых в условиях открытого пламени, для систем пассивной защиты от обнаружения средствами технической разведки [1, 16, 17, 19].

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

Монография

1. Электромагнитные экраны на основе наноструктурированных углеродосодержащих материалов / Е. С. Белоусова, А. М. А. Мохамед, Л. М. Лыньков, Т. В. Борботько; под ред. Л. М. Лынькова. – Минск : Бестпринт, 2018. – 317 с.

Статьи в рецензируемых научных журналах

2. Мохамед, А. М. А. Многослойные экраны электромагнитного излучения на основе вспученного перлитового песка и порошкообразных углеродсодержащих материалов / О. В. Бойправ, Е. С. Белоусова, А. М. А. Мохамед // Доклады БГУИР. – 2014. – № 3 (81). – С. 27–32.

3. Мохамед, А. М. А. Углеродсодержащие бетоны на основе измельченной древесины / А. М. А. Мохамед, Е. С. Белоусова, Л. М. Лыньков // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. – 2015. – Т. 7, № 3. – С. 43–49.

4. Мохамед, А. М. А. Композиционные материалы на основе технического углерода и гидрогеля для скрытия объектов от средств технической разведки / А. М. А. Мохамед, Е. С. Белоусова, С. Н. Касанин // Доклады БГУИР. – 2016. – № 1 (95). – С. 64–70.

5. Гибкие конструкции защитных экранов электромагнитного излучения на основе углеродсодержащих порошковых наполнителей / Т. А. Пулко, Х. А. Э. Айад, А. М. А. Мохамед, Л. М. Лыньков // Доклады БГУИР. – 2016. – № 7 (101). – С. 132–135.

6. Мохамед, А. М. А. Гибкие углеродсодержащие поглотители электромагнитного излучения на основе волокнистых материалов / Е. С. Белоусова, А. М. А. Мохамед, Я. Т. А. Аль-Адеми // Доклады БГУИР. – 2017. – № 2 (104). – С. 63–68.

7. Характеристики отражения и передачи электромагнитного излучения трудновоспламеняемых экранов на основе углеродсодержащих материалов / О. В. Бойправ, Т. А. Пулко, Л. М. Лыньков, Х. А. Э. Айад, А. М. А. Мохамед, Л. Л. Ганьков // Доклады БГУИР. – 2017. – № 6 (108). – С. 63–68.

8. Гибкие экраны электромагнитного излучения на основе углеродсодержащих клеевых составов / Е. С. Белоусова, А. М. А. Мохамед, М. С. Х. Аль Махдави, А. М. Прудник // Доклады БГУИР. – 2017. – № 8 (110). – С. 73–78.

Статьи в отраслевых журналах

9. Мохамед, А. М. А. Насыпные композиты на основе углеродосодержащих порошкообразных материалов для электромагнитного экранирования / А. М. А. Мохамед, Т. А. Пулко, Х. А. Э. Айад // Научно-практическое приложение «Нефтехимический комплекс» к производственному научно-практическому отраслевому журналу «Вестник Белнефтехима». – 2017.– № 1 (16). – С. 19–20.

Статьи в сборниках материалов конференций

10. Мохамед, А. М. А. Экранирующие электромагнитное излучение огнестойкие краски на основе технического углерода / А. М. А. Мохамед, Е. С. Белоусова, Л. М. Лыньков // Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных : материалы междунар. науч.-техн. семинара, Минск, апрель – декабрь 2013 г. / БГУИР ; редкол. : М. Н. Бобов [и др.]. – Минск, 2013. – С. 81–84.

11. Мохамед, А. М. А. Экраны электромагнитного излучения на основе огнестойких красок и аморфного углерода / А. М. А. Мохамед // Международная научно-техническая конференция, приуроченная к 50-летию МРТИ-БГУИР : матер. конф, Минск, 18–19 марта 2014 г.; редкол. : А. А. Кураев [и др.].– Минск БГУИР, 2014. – Ч. 1. – С. 332–333.

12. Мохамед, А. М. А. Градиентные экраны электромагнитного излучения на основе огнестойких красок с добавлением сажи / А. М. А. Мохамед, Е. С. Белоусова, Л. М. Лыньков // Первый шаг в науку – 2014 : материалы Междунар. форума студенческой и учащейся молодежи, 23–25 апреля 2014 г.; редкол. : Ю. М. Сафонова [и др.]. – Минск : Энциклопедикс, 2014. – С. 170–174.

13. Mohamed, A. M. A. Flexible Fire-resistant electromagnetic radiation shields / A. M. A. Mohamed, E. Belousova // The Youth of the 21st Century: Education, Science, Innovations : materials of the International Conference for Students, Postgraduates and Young Scientists, Vitebsk, December 4, 2014; Editorial board.: I. M. Prischepa (Editor in Chief) [and others] – Vitebsk : VSU named after P. M. Masherov, 2014. – P. 39–41.

14. Мохамед, А. М. А. Экранирующие электромагнитное излучение бетоны на основе технического углерода / А. М. А. Мохамед, Е. С. Белоусова, Л. М. Лыньков // Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии (Медэлектроника-2014) : сб. науч. ст. VIII Междунар. науч.-техн. конф.; Минск, Беларусь, 10–11 декабря 2014 г.; редкол. : В. С. Улащик [и др.]. – Минск : БГУИР, 2014. – С. 396–397.

15. Мохамед, А. М. А. Гибкие экраны электромагнитного излучения на основе клеевых растворов / А. М. А. Мохамед, Е. С. Белоусова // Комплексная защита информации: материалы XX науч.-практ. конф., Минск, 19 мая 2015 г. ; редкол. : А. Н. Курбацкий [и др.]. – Минск, 2015 г. – С. 127–130.

16. Панели электромагнитной защиты помещений на основе технического углерода и древесного угля на целлюлозе пирамидальной формы / Х. А. Э. Айад, А. М. А. Мохамед, Т. А. Пулко, Л. М. Лыньков // Комплексная защита информации: материалы XXI науч.-практ. конф., Смоленск, 17–19 мая 2016 г. – Смоленск, 2016 ; редкол. : А. Н. Курбацкий [и др.]. – С. 138–141.

17. Облегченные конструкции экранов электромагнитного излучения на основе углеродсодержащих наполнителей / Т. А. Пулко, Х. А. Э. Айад, А. М. А. Мохамед, Л. М. Лыньков // Управление информационными ресурсами : материалы XIII международной науч.-практ. конф., Минск, 9 декабря 2016 г. / Академия управления при Президенте Респ. Беларусь ; редкол. : проф. А. В. Ивановский [и др.]. – Минск, 2016. – С. 201–202.

18. Широкоформатные углеродсодержащие экраны электромагнитного излучения / Л. М. Лыньков, Т. А. Пулко, Х. А. Э. Айад, А. М. А. Мохамед // Комплексная защита информации: материалы XXII науч.-практ. конф., Новополоцк, 16–19 мая 2017 г. ; редкол. : А. Н. Курбацкий [и др.]. – Новополоцк , 2017. – С. 84–86.

19. Композиционные углеродсодержащие экраны электромагнитного излучения / Т. А. Пулко, А. М. А. Мохамед, А. М. Прудник, Л. М. Лыньков // Взаимодействие излучений с твердым телом : материалы 12-й Междунар. конф, Минск, 19–22 сентября 2017 г. ; редкол. : В. В. Углов [и др.]. – Минск, 2017. – С. 285–286

20. Технология получения проницаемых углеродсодержащих материалов для огнестойких экранов электромагнитного излучения / Х. А. Э. Айад, А. М. А. Мохамед, О. В. Бойправ, Т. А. Пулко, А. М. Прудник // Пористые проницаемые материалы: технологии и изделия на их основе: материалы 6-ого Междунар. симпозиума, Минск, 19–20 октября 2017 г.; редкол. : П. А. Витязь [и др.]. – Минск, 2017. – С. 281–286.

Тезисы докладов

21. Гибкие экраны электромагнитного излучения на основе технического углерода / Е. С. Белоусова, А. М. А. Мохамед, М. С. Х. Аль Махдави, А. М. Прудник // Технические средства защиты информации : тез. докл.

XII Белорусско-российской науч.-техн. конф., 8–29 мая 2014 г. ; редкол. : Л. М. Лыньков [и др.]. – Минск, 2014. – С. 68.

22. Экраны электромагнитного излучения на основе водосодержащих углеродных порошков / Е. С. Белоусова, А. М. А. Мохамед, М. Ш. М. Махмуд, В. А. Богуш // Технические средства защиты информации : тез. докл. XIII Белорусско-российской науч.-техн. конф., Минск, 4–5 мая 2015 г. ; редкол. : Л. М. Лыньков [и др.]. – Минск, 2015. – С. 54.

23. Гибкие конструкции экранов электромагнитного излучения на основе влагосодержащего технического углерода // Е. С. Белоусова, А. М. А. Мохамед, А. Х. Т. Мохамед, Л. М. Лыньков // Технические средства защиты информации : тез. докл. XIII Белорусско-российской науч.-техн. конф., Минск, 4–5 мая 2015 г. ; редкол. : Л. М. Лыньков [и др.]. – Минск, 2015. – С. 56.

24. Радиопоглощающие материалы на основе порошков диоксида титана и технического углерода / В. М. Мулугета, Х. А. М. Айад, А. М. А. Мохамед, В. А. Богуш // Технические средства защиты информации: тез. докл. XIV Белорусско-российской науч.-техн. конф., Минск, 25–26 мая 2016 г. ; редкол. : Л. М. Лыньков [и др.]. – Минск, 2016. – С. 63.

25. Углеродсодержащие экраны электромагнитного излучения / Л. М. Лыньков, Т. А. Пулко, Х. А. Э. Айад, А. М. А. Мохамед // Технические средства защиты информации: тез. докл. XV Белорусско-российской науч.-техн. конф., Минск, 6 июня 2017 г. ; редкол. : Т. В. Борботько [и др.]. – Минск, 2017. – С. 93.

РЭЗІЮМЭ

Махамед Абдулсалам Муфтах Абулкасем

Канструкцыі электрамагнітных экранаў на аснове кампазітных матэрыялаў, якія змяшчаюць парашкі тэхнічнага вугляроду

Ключавыя словы: парашкападобны тэхнічны вуглярод, эластычныя канструкцыі экранаў электрамагнітнага выпраменьвання, вуглеродзмяшчальныя вогнеўстойлівыя фарбы.

Мэта працы: даследаванне эфектыўнасці выкарыстання кампазітных матэрыялаў на аснове парашкоў тэхнічнага вугляроду з рознымі напаяльнікамі для стварэння новых канструкцый экранаў электрамагнітнага выпраменьвання для пасіўных сродкаў абароны інфармацыі.

Метады даследвання і выкарыстаная апаратура: ганіямэтрычная ўстаноўка з выкарыстаннем спектрапалярыметра Гемма МС-09; панарамны вымяральнік паслаблення і КСВН Я2Р-67 з ГКЧ-61 у дыяпазоне 8...12 ГГц, у дыяпазоне 0,7...17 ГГц – вымяральны комплекс SNA 0,01–18; вымяральнікі магутнасці ЭМВ РМ 0,01–39,5.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: ўсталяваная нераўнамернасць размеркавання парашкоў тэхнічнага вугляроду ў гідрагелі на аснове растваральнага супалімера акрыламіду і натрыевай солі пры памяншэнні ўтрымання парашка ад 50% складу кампазіта падчас выдалення воднага складніка кампазітаў на іх аснове; паказана, што дадзеныя кампазіты характарызуюцца рознымі значэннямі каэфіцыента спектральнай яркасці ў частотным дыяпазоне 400...900 нм (0,027 адн. адзінак для узораў з максімальным утрыманнем вугляроду на паверхні і 0,14 адносных адзінак для адваротнага боку сінтэзаваных кампазітаў, якая змяшчае гідрагельны складнік); паказана, што высокатэмпературная агнявая апрацоўка пакрыццяў на аснове парашкоў тэхнічнага вугляроду і дыяксіду тытана адкрытым полымем прыводзіць да лакальнага ўтварэння ў складзе коксу, што дазваляе стабілізаваць частотныя характарыстыкі электрамагнітных экранаў на іх аснове ў межах 10 %.

Ступень выкарыстання: пры выкананні ВКР ва ўстаноўке адукацыі «Беларускі дзяржаўны ўніверсітэт інфарматыкі і радыёэлектронікі» на ініцыятыўнай аснове.

Галіна прымянення: у складзе эластычных канструкцый электрамагнітных канструкцый экранаў; у якасці пакрыццяў для розных мабільных аб'ектаў, што эксплуатауюцца ва ўмовах адкрытага полыміні для сістэм пасіўнай абароны інфармацыі ад выяўлення сродкамі тэхнічнай выведкі; у складзе пакрыўной канструкцый для зніжэння радыусу кантраляванай зоны ад 8,2 да 5,5 м.

РЕЗЮМЕ

Мохамед Абдулсалам Муфтах Абулкасем

Конструкции электромагнитных экранов на основе содержащих порошки технического углерода композитных материалов

Ключевые слова: порошкообразный технический углерод, эластичные конструкции экранов электромагнитного излучения, углеродсодержащие огнестойкие краски.

Цель работы: исследование эффективности использования композитных материалов на основе порошков технического углерода с различными наполнителями для создания новых конструкций экранов электромагнитного излучения для пассивных средств защиты информации.

Методы исследования и использованная аппаратура: гониометрическая установка с использованием спектрополяриметра Гемма МС-09; панорамный измеритель ослабления и КСВН Я2Р-67 с ГКЧ-61 в диапазоне 8...12 ГГц, в диапазоне 0,7...17 ГГц – измерительный комплекс SNA 0,01–18; измерители мощности ЭМИ РМ 0,01–39,5.

Полученные результаты и их новизна: установлена неравномерность распределения порошков технического углерода в гидрогелях на основе растворимого сополимера акриламида и натриевой соли при уменьшении содержания порошка от 50 % состава композита в процессе удаления водной составляющей композитов на их основе; показано, что данные композиты характеризуются различными значениями коэффициента спектральной яркости в частотном диапазоне 400...900 нм (0,027 отн. единиц для образцов с максимальным содержанием углерода на поверхности и 0,14 относительных единиц для обратной стороны синтезируемых композитов, содержащей гидрогелевую составляющую); показано, что высокотемпературная огневая обработка открытым пламенем покрытий на основе порошков технического углерода и диоксида титана приводит к локальному образованию рутила в составе образующегося кокса, что позволяет стабилизировать частотные характеристики электромагнитных экранов на их основе в пределах 10 %.

Степень использования: использованы при выполнении ОКР в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» на инициативной основе.

Область применения: в составе эластичных конструкций электромагнитных конструкций экранов; в качестве покрытий для различных мобильных объектов, эксплуатируемых в условиях открытого пламени для систем пассивной защиты от обнаружения средствами технической разведки; в составе укрывных конструкций для снижения радиуса контролируемой зоны от 8,2 до 5,5 м.

SUMMARY

Keywords: carbon black powder, flexible constructions of electromagnetic radiation shields, carbon-containing fire-resistant paints.

Aim of the work: study of the efficiency of using composite materials based on carbon black powder with various fillers to create new constructions of electromagnetic radiation shields for passive information protection means.

Research methods and equipment: goniometric device using the Gemma spectropolarimeter MS-09; panoramic VSWR and attenuation meter Ya2R-67 with ГКЧ-61 in the range of 8...12 GHz, in the range of 0.7...17 GHz – SNA measuring complex 0.01–18; EMP power meters PM 0.01–39.5.

The obtained results and their novelty: uneven distribution of carbon black powders in hydrogels based on soluble acrylamide copolymer and sodium salt was found while reducing the powder content from 50% of the composite composition in the process of removing the water component of composites based on them; It is shown that these composites are characterized by different values of the spectral brightness coefficient in the frequency range 400...900 nm (0.027 relative units for samples with a maximum carbon content on the surface and 0.14 relative units for the back side of synthesized composites containing a hydrogel component). It was shown that high-temperature flame treatment with an open flame of coatings based on carbon black and titanium dioxide powders leads to the local formation of rutile in the composition of the coke formed, which allows stabilizing the frequency characteristics of electromagnetic shields based on them within 10%.

Extent of usage: when performing R&D in the educational institution «Belarusian state university of informatics and radioelectronics» on an initiative basis.

Scope: as part of the elastic structures of the electromagnetic structures of the screens; as coatings for various mobile objects operated in open flame conditions for passive protection systems against detection by means of technical intelligence; as part of covering structures to reduce the radius of the controlled zone from 8.2 to 5.5 m.

Научное издание

Мохамед Абдулсалам Муфтах Абулкасем

**КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЭКРАНОВ НА ОСНОВЕ
СОДЕРЖАЩИХ ПОРОШКИ ТЕХНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА
КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.13.19 «Методы и системы защиты информации,
информационная безопасность»

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

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/238 от 24.03.2014,
№ 2/113 от 07.04.2014, № 3/615 от 07.04.2014.
ЛП № 02330/264 от 14.04.2014.
220013, Минск, П. Бровка, 6.