

«Утверждаю»

Проректор Федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Московский государственный
университет имени М.В.Ломоносова»

А.А.Федянин

26 ноября 2018 г.

ОТЗЫВ

**ведущей организации Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования «Московский
государственный университет имени М.В. Ломоносова»**

на диссертационную работу ЖУРАВЛЕВА СЕРГЕЯ ЮРЬЕВИЧА
“Термостойкие радиопоглощающие композиционные материалы на основе
тонкопленочных наноструктурированных углеродных покрытий”, представленной на
соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.16.09 - “Материаловедение (Машиностроение)”

Актуальность темы

Диссертационная работа Журавлева С.Ю. посвящена научно-технической проблеме разработки и создания термостойких, устойчивых к высокоэнергетическим электромагнитным импульсам в вакууме, радиопоглощающих материалов (РПМ) с низкими коэффициентами отражения и пропускания электромагнитных излучений (ЭМИ).

Использование подобных материалов в летательных аппаратах нацелено на повышение надежности и безопасности эксплуатации, снижения вероятности катастрофы как в естественных условиях эксплуатации, так и в условиях преднамеренного деструктивного воздействия. Данная проблематика также может быть интересна при разработке и испытаниях антенно-фидерных устройств высокой мощности, для защиты персонала и электроники от ЭМИ. Настоящие отрасли развиваются достаточно быстро, что увеличивает сложность изделий и накладывает новые ограничения и требования к технологиям и материалам, применяемым в этих сферах. К сожалению, прогресс технологий в области термостойких радиопоглощающих материалов отстает от темпов развития аэрокосмической отрасли и антенных систем. Ввиду вышесказанного тема выбранного исследования представляется весьма актуальной, а научно обоснованные технические и технологические решения и разработки по созданию многослойных термостойких радиопоглощающих материалов, составляющие основу работы, значимы для науки «Материаловедение».

Цель работы - установление влияния физико-химических и структурных характеристик углеродных коллоидных препаратов на адгезию и электрофизические характеристики покрытий, а также определение радиофизических свойств, термостойкости и теплостойкости радиопоглощающих многослойных композиционных материалов на основе тонкопленочных наноструктурированных углеродных покрытий. Работа предполагала как решение научных, так и прикладных задач при изготовлении радиопоглощающего материала устойчивого к действию электромагнитных импульсов высокой энергии.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, 8 глав, общих выводов, списка использованных источников и 2 приложений. Работа изложена на 189 страницах и включает в себя 82 иллюстрации, 29 таблиц и 20 формул. Список литературы состоит из 88 наименований.

Во введении обосновывается актуальность разработки термостойких радиопоглощающих материалов. Отмечена необходимость применения подобного рода материалов в летательных аппаратах (ЛА), для обеспечения помехозащищенности приемо-передающих устройств, а также для обеспечения безопасности персонала и оборудования при тестировании и эксплуатации антенн с высоким уровнем мощности электромагнитного излучения.

Определены цели и задачи исследований, показаны: научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы; методология и методы исследования; положения, выносимые на защиту; приведены сведения о достоверности и апробации результатов работы, сведения о публикациях, реализации и внедрении результатов, а также структуре диссертационной работы.

В первой главе изложены результаты анализа литературных источников по термостойким РПМ. Приведен обзор результатов исследования научно-технических статей, патентной литературы и фундаментальных научных трудов, опубликованных в открытой печати. Предложена авторская классификация радиопоглощающих материалов по опубликованным результатам исследований. Отмечено, что, несмотря на важность проблемы, число публикаций по термостойким радиопоглощающим материалам относительно невелико. Сформирована концепция построения сверхширокополосных радиопоглощающих материалов на основе объемно-резистивных материалов, где дисперсия диэлектрической проницаемости обусловлена джоулевыми потерями и слои согласованы по волновому сопротивлению. На основании анализа литературных источников предложен вариант создания новых материалов на основе стеклянных и базальтовых волокон с углеродными наполнителями.

Во второй главе описаны исходные материалы, применяемые в диссертационной работе: коллоидные графитовые препараты, стеклянные и базальтовые волокна и материалы.

Описаны методы исследования материалов, такие как лазерная дифракция, растровая электронная микроскопия, рентгенофазовый и термогравиметрический и дифференциально-термический анализы, методики измерения коэффициентов отражения и прохождения ЭМИ.

В третьей главе приведено описание процесса разработки модели композиционного материала с заданными параметрами тепловых и электрофизических свойств.

Проведено моделирование многослойного радиопоглощающего материала по разработанному алгоритму, с приведением положительных результатов по расчету радиотехнических характеристик: коэффициента отражения и коэффициента прохождения.

Выбран алгоритм и интерактивная компьютерная программа расчета радиофизических параметров по данным электрофизических характеристик материалов, образующих многослойные радиопоглощающие конструкции. Описана концепция построения программного расчетного комплекса. Расчеты позволили оптимизировать выбор материалов для комбинированного многослойного РПМ и оценить его возможные характеристики в широком диапазоне частот.

Проведены расчеты допустимых параметров облучения многослойных конструкций с заданными радиофизическими и теплофизическими параметрами.

В четвертой главе приведены технологические аспекты изготовления покрытий на минеральных волокнах.

Показаны результаты исследований дисперсности КГП методами лазерной дифракции и проведен выбор дисперсии оптимальной по свойствам для нанесения на поверхность подложек. Выбран способ придания радиофизических свойств композиционным материалам посредством пропитки их растворами коллоидно-графитовых препаратов.

Проведено исследование термической устойчивости покрытий из активированного углерода. Эти данные послужили основой для выбора температуры сушки.

Рассмотрены вопросы адгезии высокодисперсных форм углерода к доступным в коммерческом отношении минеральным подложкам в электропроводящих композициях.

В пятой главе проведено исследование условий формирования углеродных покрытий и получения экспериментальных образцов материалов на стеклянных и базальтовых волокнах.

Проведено исследование влияния концентрации твердой фазы в суспензии на электрическое сопротивление покрытий.

Рентгенографическими методами проведено изучение структуры графитов, полученных осаждением из различных видов коллоидных графитовых препаратов, что позволило определить толщину частиц графита.

Приведен анализ термограмм углеродных покрытий на минеральных подложках препаратов, описаны химические процессы, проходящие в графитовом покрытии.

В шестой главе описан процесс изготовления новых покрытий для композиционных материалов с заданными свойствами.

Рассмотрен способ получения устойчивых дисперсий в водных и водно-спиртовых растворах химически активированных наноразмерных частиц графита, предназначенных для нанесения на стеклянные и базальтовые волокна. Предложенный способ позволяет получить дисперсии с существенным уменьшением толщины графитовых частиц до размеров, необходимых при работе с ультратонкими волокнами.

Оптимизирован способ нанесения наноразмерных частиц графита на минеральные волокна, позволяющий обеспечить требуемую электропроводность покрытий.

Глава 7 состоит из описания исследований по термической стойкости покрытий из различных коллоидных графитовых препаратов как отдельно, так и при нанесении на минеральные подложки. Результатом исследований стала выработка технического решения по обеспечению термостойкости радиопоглощающего материала с соблюдением требований по обеспечению коэффициента отражения в заданном диапазоне длин волн электромагнитного излучения.

В главе 8 представлены варианты конструкций и изделия, выполненные на основе проведенных исследований. Изготовлены экран для термовакуумных испытаний и согласованная нагрузка для испытания антенных комплексов высокого уровня мощности. Проведены испытания изделий на воздействие вакуума и электромагнитных излучений в 60 Вт/дм^2 , а также проверка радиофизических характеристик изделий до и после испытаний, которая показала способность изделий выдерживать мощные электромагнитные импульсы и нагрев сохраняя радиофизические характеристики.

Научная новизна работы подтверждается разработкой новых научно обоснованных технических и технологических решений и разработок по изготовлению термостойких многослойных радиопоглощающих композиционных материалов на основе

тонкопленочных наноструктурированных углеродных покрытий. Выявлены новые закономерности изменения электрофизических и адгезионных характеристик графитовых покрытий, а также радиофизических и термостойких свойств РПМ на их основе, от структурных и физико-химических свойств графитовых препаратов.

Теоретическая значимость исследований заключается в построении модели многослойного радиопоглощающего композиционного материала с градиентной конструкцией слоев по электрофизическим параметрам, обеспечивающей равномерную эффективность поглощения ЭМИ в широком частотном диапазоне длин волн электромагнитного излучения. Построение модели выполнено на основании расчетов с применением известного современного компьютерного расчетного комплекса и подтверждено практической реализацией результатов расчетов при изготовлении материалов.

Практическая ценность работы и значимость для производства характеризуется разработкой термостойкого радиопоглощающего покрытия на минеральных волокнах, способа получения активированного высокодисперсного препарата графита для покрытий на ультратонких волокнах и способа изготовления электропроводной нити из ультратонких стеклянных волокон, что подтверждено тремя патентами, числящимися в списке публикаций автора.

Достоверность и апробация полученных результатов

Решение поставленных в диссертационной работе задач стало возможным благодаря комбинации классических методов фундаментальных наук с современными методами компьютерного моделирования и последующих натуральных испытаний. Использование такого подхода и полученные с его помощью результаты говорят о высокой степени их достоверности и позволяют сделать вывод о работоспособности и справедливости предложенных алгоритмов и решений.

Результаты работы докладывались на 6 научных конференциях с публикацией материалов в сборниках трудов. По результатам исследования опубликовано 2 научные работы в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень рекомендуемых изданий ВАК, 1 работа в издании, включенном в базу данных Scopus. Получены 3 патента.

Результаты работы рекомендуется использовать в производстве изделий, требующих применения радиопоглощающих материалов, обеспечивающих защиту от мощного электромагнитного излучения электроники и/или персонала, а также подвергающихся термоударам или воздействию экстремально низких и высоких температур.

Замечания по диссертации

К недостаткам работы можно отнести следующее:

1. В работе отсутствуют рекомендации по применению разработанных алгоритмов полного цикла изготовления термостойкого РПМ, которые необходимы при разработке ТУ на материал.

2. В проведенной работе недостаточно внимания уделено вопросам точности полученных расчетных и экспериментальных данных. В таблицах, включая радиофизические характеристики материалов, отсутствуют оценки погрешности измерений.

3. Диссертация содержит излишне большое число глав, что затрудняет восприятие. Число глав можно было сократить до четырёх.

4. Имеются погрешности в оформлении, например, рисунок 5.3 выходит за границу правого поля, в конце названий некоторых разделов поставлены точки, содержание не отформатировано и т.д.

Заключение о соответствии диссертации «Положению о присуждении ученых степеней»

Несмотря на представленные замечания, диссертация Журавлева Сергея Юрьевича является законченной самостоятельной научно-исследовательской работой, содержащей решение актуальной задачи в области материаловедения. Указанные недостатки не носят принципиального характера и не снижают ее научной и практической ценности. Материал диссертации изложен логично и последовательно, в соответствии с требованиями ГОСТ. Автореферат отражает основное содержание диссертационной работы, актуальность темы, ее теоретическую и практическую значимость.

Таким образом, диссертация Журавлева Сергея Юрьевича является научно-квалификационной работой, в которой разработано термостойкое радиопоглощающее покрытие на минеральных волокнах. По своему содержанию и полученным результатам работа удовлетворяет требованиям п. 9 Постановления Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. N 842 "О порядке присуждения ученых степеней" (с изменениями, внесенными Постановлением Правительства РФ от 21 апреля 2016г. № 335), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 «Материаловедение (Машиностроение)».

Отзыв подготовил - профессор кафедры химической технологии и новых материалов химического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова Ионов Сергей Геннадьевич,

доктор физико-математических наук (специальность 01.04.07 – физика конденсированного состояния).

д.ф.-м.н., профессор

С. Г. Ионов

(Ионов Сергей Геннадьевич, e-mail: Ionov@highp.chem.msu.ru, телефон: (495) 939-20-57).

Отзыв заслушан и утвержден на заседании кафедры химической технологии и новых материалов Химического факультета Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова, протокол заседания № 10 от 20 ноября 2018 г.

Заведующий кафедрой химической технологии и новых материалов

Химического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова,

д.х.н., профессор

В. В. Авдеев

(Авдеев Виктор Васильевич, телефон: (495) 939-59-88, e-mail: avdeev@highp.chem.msu.ru)

Почтовый адрес: 119991, Москва, Ленинские горы, дом 1, строение 3, ГСП-1, МГУ, химический факультет, кафедра химической технологии и новых материалов.

Секретарь заседания,

к.х.н., доцент

Барышникова О.В.

Зам. декана Химического факультета

МГУ имени М.В.Ломоносова по научной работе,

д.х.н

Зверева М.Э.