

## Отзыв

на кандидатскую диссертацию официального оппонента заслуженного деятеля науки РФ, доктора технических наук, профессора Герасимени Валерия Павловича на тему «Термостойкие радиопоглощающие композиционные материалы на основе тонкопленочных наноструктурированных углеродных покрытий», выполненную Журавлевым Сергеем Юрьевичем на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 - Материаловедение (Машиностроение)

### *Актуальность избранной темы*

Актуальность избранной темы диссертационной работы подтверждается прежде всего с одной стороны, значительным научно-техническим прогрессом современной электроники авиакосмической техники с мощными источниками импульсных излучений, с другой стороны отставанием в развитии конструктивных особенностей термостойких радиопоглощающих материалов (РПМ), применяемых для защиты современной многофункциональной электронной аппаратуры летательных аппаратов (ЛА) от источников импульсных излучений высокого уровня мощности.

Для устранения сложившихся противоречий в последнее время всесторонне исследуются вопросы разработки новых РПМ со специальными свойствами, которые получают с использованием новых инновационных технологий и материалов.

Для экранирования источников электромагнитного излучения высокого уровня мощности особый интерес представляют композиционные РПМ на основе тонкопленочных наноструктурированных углеродных покрытий, обладающие высокими характеристиками термостойкости, устойчивости в вакууме и имеющие высокую теплостойкость и регулируемые радиофизические характеристики.

Однако, отсутствие в настоящее время научно-методического аппарата по расчету указанных основных показателей и параметров многослойных вакуумстойких и термостойких РПМ, технологии их получения и соответственно базы экспериментальных данных поведения такого рода материала при его применении для защиты современной электроники летательных аппаратов (ЛА) от источников импульсных излучений привело автора диссертационной работы к формулированию темы диссертации, постановке цели и частных задач исследования. Именно решению этих сложившихся противоречий и посвящена данная диссертационная работа.

## ***Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации***

Выполненная Журавлевым С.Ю. диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук несомненно является научно-квалификационной работой, в которой в соответствии с п. 9 «Положения...» изложены новые научно обоснованные технические, технологические решения и разработки по обоснованию и созданию многослойных вакуумстойких и термостойких РПМ на основе тонкопленочных наноструктурированных углеродных покрытий, применяемых для защиты современной электроники ЛА от источников импульсных излучений как естественного происхождения, промышленных и внутренних аппаратных помех, так и средств электронного воздействия, имеющие существенное значение для развития страны.

Исходя из принятой автором работы методологии проведенных исследований и структуры рукописи **предметом исследования** является изучение зависимостей электрофизических характеристик разрабатываемых РПМ от создаваемой их структуры и физико-химических свойств.

**Объектом исследования** является многослойные вакуумстойкие и термостойкие РПМ на основе тонкопленочных наноструктурированных углеродных покрытий с различными значениями их проводимости.

Исходя из сформулированных предмета и объекта исследования для решения сложившихся в настоящее время противоречий в исследуемой важной государственной области науки и техники автором, на мой взгляд, совершенно справедливо поставлена цель исследования.

**Целью диссертационной работы** является исследование влияния структуры, физико-химических свойств электропроводящих материалов на их адгезионные и электрофизические характеристики, тепло и термостойкость РПМ на основе тонкопленочных наноструктурированных углеродных покрытий и создание на их основе многослойных вакуумстойких и термостойких РПМ, способных выдерживать электромагнитные импульсы высоких энергий.

Структурно рукопись диссертационной работы состоит из введения, 8 глав, общих выводов, списка использованных источников и двух приложений. Диссертация изложена на 189 страницах, содержит 29 таблиц, 82 рисунка, 20 формул. Список использованной литературы содержит 88 источников.

Введение диссертации включает в себя основные структурные элементы и соответствует п.п. 5.3.1 ГОСТ Р 7.0.11-2011.

**Глава 1** диссертации посвящена аналитическому обзору литературы в исследуемой области объекта и предмета исследования. На основе литературных данных показано, что создание композиционных РПМ на основе волокнистых материалов с резистивными покрытиями является перспективным путем развития технологии широкополосных РПМ.

Вместе с тем сделан вывод о том, что в настоящее время отсутствуют четкие рекомендации по изготовлению и использованию высокоэффективных РПМ в системах электромагнитной защиты в условиях вакуума и действия электромагнитных импульсов высоких энергий.

На основе проведенного анализа литературы автором вполне справедливо обоснована актуальность разработки новых РПМ на основе кварцевых и базальтовых волокон с углеродными наполнениями в виде тонкопленочных наноструктурированных углеродных покрытий и создание на их основе многослойных вакуумстойких РПМ, способных выдерживать электромагнитные импульсы высоких энергий.

**Глава 2** посвящена описанию применяемых в исследованиях исходных материалов, оборудования и методов исследования.

В данной главе описаны сведения об исходных материалах. Подробно приведены технические и технологические особенности их получения.

Описаны современные методы исследования: для определения размеров частиц в водных дисперсиях; для исследования структуры материалов и покрытий; для исследования радиофизических свойств РПМ.

Подробно приведены методики по определению основных исследуемых параметров и показатели исследуемых вариантов многослойных РПМ (модуль коэффициента отражения плоской электромагнитной волны, коэффициент отражения и прохождения на фиксированной частоте 6,4 ГГц для расчета диэлектрической проницаемости и волнового сопротивления поверхности, фазовый состав и планарный размер частиц графита, поведение РПМ при нагревании в интервале 20-600<sup>0</sup>С).

**Глава 3** посвящена разработке модели композиционного материала с заданными параметрами тепловых и электрофизических свойств.

В данной главе представлены результаты выбора расчетной методики и подробно описаны результаты расчетов радиофизических параметров многослойных композиционных материалов (до 15 слоев) по электрофизическим данным отдельных слоев, образующих

радиопоглощающие конструкции при выбранном автором алгоритме и известной интерактивной компьютерной программы расчета радиофизических параметров многослойных композиционных материалов по электрофизическим данным отдельных слоев, образующих радиопоглощающие конструкции.

Представлено теоретическое обоснование расчета по выбранной методике.

Выполнены расчеты многослойных структур с диэлектрическими потерями, состоящих от 1 до 7 слоев.

Проведена оптимизация набора электрофизических параметров исследуемых материалов, который реализован на практике при создании радиопоглощающего экрана и радиопоглощающей нагрузки для излучений высокого уровня мощности.

Выполнено моделирование амплитудно-частотных характеристик коэффициентов отражения в зависимости от параметров слоев материала.

Проведен приближенный расчет теплофизических свойств исследуемой конструкции разработанного изделия.

**Глава 4** посвящена описанию технологических аспектов изготовления покрытий на кварцевых и базальтовых волокнах.

В данной главе представлены результаты исследования влияния параметров пропиточных материалов и подложек на свойства покрытий и экспериментальных образцов материалов на кварцевых и базальтовых волокнах. Описаны методики выбора (методом ДСК) и способ нанесения покрытий из коллоидно-графитовых растворов (КГР) на поверхность подложки.

Исследованы и установлены размеры частиц в КГР, использованных для нанесения покрытий на подложки.

Проведены термографические исследования материалов, полученных осаждением при выпаривании в электропечи при температуре 120<sup>0</sup>С из коллоидных растворов. На основании термографических данных установлены закономерности формирования покрытий из активированного углерода при его сушке.

Рассмотрены вопросы адгезии к стекловолокнам углей, графита и высокодисперсных форм углерода в электропроводящих композициях.

**Глава 5** посвящена исследованию условий формирования углеродных покрытий и получению экспериментальных образцов материалов на кварцевых и базальтовых волокнах.

**Глава 6** посвящена описанию изготовления новых покрытий для композиционных материалов с заданными свойствами. В данной главе

излагаются результаты экспериментальных исследований исследуемых вариантов пропиточных растворов, покрытий на волокнах с использованием современных способов получения устойчивых дисперсий в водных и спиртовых растворах химически активированных наноразмерных частиц графита, предназначенных для нанесения на стеклянные и кварцевые волокна. В результате проведенных исследований разработаны новые способы нанесения графитовых покрытий на стеклянные и кварцевые волокна, обладающими требуемыми электропроводящими свойствами. Новизна исследований защищена патентами РФ на изобретение № 2583099, № 2623401.

**Глава 7** посвящена описанию термических испытаний новых композиционных материалов и изделий. В этой главе отражено исследование нагрево- и термостойкости покрытий на базальтовом волокне, а также исследование устойчивости покрытий на базальтовом волокне к нагреву в вакууме. Выявлены новые свойства покрытий из активированного углерода применительно к радиопоглощающим материалам, предназначенным для защиты от высокоэнергетических воздействий. Определена термическая устойчивость покрытий из активированного углерода. В результате проведенных исследований разработано техническое решение, обеспечивающее высокую термостойкость покрытия и расширение диапазона рабочих температур при сохранении эффективности поглощения радиоизлучения, что обеспечивает существенное расширение диапазона возможного применения разработанного РПМ.

**Глава 8** посвящена описанию конструктивных особенностей изготовленных изделий из термостойких материалов.

В данной главе проведено описание конструктивных особенностей изготовленных макетов полномасштабных экспериментальных образцов изделий термостойкого экрана и термостойкой радиопоглощающей нагрузки, которая представляет собой экранированную камеру с размещенным внутри РПМ, удовлетворяющей требованиям устойчивости к воздействию электромагнитных излучений высокой амплитуды и высокой мощности ( до  $60 \text{ Вт/дм}^2$ ), с заданными коэффициентами отражения в плоскости, в плоскости, обращенной к излучателю (-22 дБ), коэффициентами прохождения (-60 -65 дБ) и способные работать в вакууме при контрастных условиях радиационного длительного нагрева внутренних частей изделий на воздухе и в вакууме ( от  $300^{\circ}\text{C}$  до  $400^{\circ}\text{C}$ ) и при кратковременном нагреве в вакууме (до  $500^{\circ}\text{C}$ ).

**В заключении** в виде общих выводов приводятся основные полученные научные и практические результаты исследования.

**В Приложениях 1 и 2** представлены акт об использовании и акт о внедрении разработанных многослойных термостойких РПМ в целях защиты от электромагнитных воздействий в условиях внутреннего нагрева излучением в вакууме и в условиях перепадов температур.

**В ходе исследования автором достигнуты следующие научные результаты**, которые по мнению оппонента в отличие от предложенного автором количества 7 результатов и положений, можно сгруппировать в самостоятельные 3 научных результата исследований.

**1-ый научный результат.** Модель композиционного материала с заданными параметрами тепловых и электрофизических свойств, включающих установление:

закономерности изменения планарных размеров и толщины графитовых частиц в зависимости от технологии получения активированного угля;

закономерности изменения термостойкости и радиофизических характеристик РПМ на основе углеродных покрытий на минеральных волокнах в зависимости от планарных размеров и толщины графитовых частиц;

зависимости электрического сопротивления минеральных волокон из стекла от условий активизации графитового материала и концентрации пропиточных растворов в условиях ультразвукового воздействия.

**2-ой научный результат.** Технические, технологические решения и разработки по созданию многослойных термостойких радиопоглощающих структур композиционного материала на основе тонкопленочных наноструктурированных углеродных покрытий, включающие определение:

зависимости адгезии при формировании углеродных покрытий на минеральных подложках от условий формирования покрытий и предварительной термообработки материала подложки;

зависимости размеров и формы частиц в углеродной дисперсии от условий активизации в присутствии гидроокиси аммония, перекиси водорода и йода в условиях ультразвукового воздействия.

**3-й научный результат.** Предложения по созданию изделия из термостойкого РПМ и результаты испытаний с оценкой эффективности его применения для защиты электроники летательных аппаратов (ЛА) от источников импульсных излучений и средств электронного воздействия, включающие:

результаты комплексных исследований изготовленных экранов для поглощения излучений высокого уровня мощности (до  $60 \text{ Вт/м}^2$ );

результаты комплексных исследований изготовленной нагрузки для испытания антенных комплексов, работающих в условиях облучения высокочастотными излучениями высокой мощности (до 60 Вт/м<sup>2</sup>).

По мнению оппонента такая градация более объективно отвечает структуре, целостности и логике полученных автором новых научных результатов исследований, которые несомненно обладают новизной, теоретической значимостью и практической ценностью.

**Научная новизна** диссертационной работы заключается в разработке новых научно обоснованных технических, технологических решений и разработок по обоснованию и созданию многослойных вакуумстойких и термостойких радиопоглощающих структур композиционных материалов на основе тонкопленочных наноструктурированных углеродных покрытий, с установлением зависимостей их электрофизических характеристик от создаваемой структуры и физико-химических свойств, обеспечивающих защиту современной электроники ЛА от источников импульсных излучений и средств электронного воздействия импульсов высоких энергий.

Новизна технических, технологических решений и разработок подтверждается 3 патента РФ на изобретения (пат. № 256838 от 06.06.2013, пат. № 2583099 от 17.10.2014, пат. № 2623401 от 28.10.2015).

**Теоретическая значимость** диссертационной работы заключается в развитии научно-методического аппарата по расчету радиотехнических параметров и теплофизических свойств многослойных композиционных материалов (до 15 слоев) по электрофизическим данным отдельных слоев, образующих радиопоглощающие конструкции при выбранном автором алгоритме и известной интерактивной компьютерной программы расчета радиофизических параметров по электрофизическим данным отдельных слоев, образующих радиопоглощающие конструкции и разработки на их основе модели композиционного материала с заданными параметрами тепловых и электрофизических свойств, который реализован на практике при создании радиопоглощающего экрана и радиопоглощающей нагрузки, представляющей собой экранированную камеру с размещенным внутри РПМ для экранирования излучений высокого уровня мощности.

**Практическая ценность** диссертационной работы заключается в разработке новых способов нанесения углеродных покрытий с заданными электрофизическими параметрами на минеральные волокна из стекла и базальта и активизации углеродных материалов с помощью ультразвука для получения графитовых препаратов пластинчатой формы с увеличенными адгезионными характеристиками при формировании многослойных структур композиционного материала и полученных результатов

экспериментальных испытаний разработанного РПМ с оценкой эффективности его применения для защиты электроники летательных аппаратов (ЛА) от источников импульсных излучений и средств электронного воздействия.

На основе полученных результатов созданы макеты полномасштабных экспериментальных образцов изделий термостойкого экрана и термостойкой радиопоглощающей нагрузки, которая представляет собой экранированную камеру с размещенным внутри РПМ, удовлетворяющих требованиям устойчивости к воздействию электромагнитных излучений высокой амплитуды и высокой мощности (до  $60 \text{ Вт/дм}^2$ ), с заданными коэффициентами отражения в плоскости, в плоскости, обращенной к излучателю (-22дБ), коэффициентами прохождения (-60 -65дБ) и способные работать в вакууме при контрастных условиях радиационного длительного нагрева внутренних частей изделий на воздухе и в вакууме (от  $300^{\circ}\text{C}$  до  $400^{\circ}\text{C}$ ) и при кратковременном нагреве в вакууме (до  $500^{\circ}\text{C}$ ).

**Достоверность** результатов научных исследований, полученных в работе, подтверждается корректным использованием современных методов исследования, планированием проведения экспериментальных исследований и статистической обработкой полученных результатов экспериментальных исследований с применением стандартных известных программ, а также достаточной сходимостью результатов экспериментальных исследований с полученными результатами теоретических исследований по выбранным показателям и параметрами РПМ, расхождение которых не превышает 10-15%.

Обоснованность научных результатов и положений, сформулированных в диссертационной работе и выдвинутых на защиту обеспечивается реализацией принципов системного подхода к решению сформулированных задач исследования и принятых допущений при их решении, а так же всесторонней апробацией полученных результатов исследования на конференциях в период 2013-2018 г.г.

Результаты диссертационной работы использованы в деятельности НПП «Радиострим» и в ЗАО «КИА Системы», что подтверждено актом об использовании и актом о внедрении результатов работы, которые приведены в Приложении к диссертации.



## **Замечания по диссертации**

Вместе с тем по работе имеются ряд замечаний:

1. К сожалению, не смотря на значимость полученных научных результатов, их профессиональное логическое изложение по тексту диссертационной работы, сама рукопись выполнена с некоторыми опечатками и отступлениями от требований ГОСТ 7.32 - 2001, ГОСТ Р 7.0.11-2011, орфографическими и стилистическими ошибками (например, сплошная нумерация страниц, излишне поставленные точки в конце заголовков, таблиц, рисунков, список использованных источников составлен с некоторыми отступлениями от требований к нему, не всегда по тексту выдержаны установленные границы полей формата листа, и др.).
2. По содержанию работы по мнению оппонента излишне раздроблено описание исследуемых задач и полученных научных результатов, описанных в 7-ми главах диссертации, что затрудняет порой восприятия и понимания полученных автором научных результатов. Было бы более логично изложить описанные в 7-ми главах результаты как минимум в 4 главах с сформулированными обоснованными выводами по главам о полученных результатах исследования.
3. Как следствие раздробленных глав, автором неоправданно раздроблены полученные основные результаты исследования в виде 7 положений и результатов, выносимых на защиту. Поэтому для целостности и весомости полученных автором работы новых научных результатов оппонентом предложено в своем отзыве сгруппировать эти результаты в виде 3-х научных положений, которые последовательно включают в себя указанные автором 7 отдельных результатов. Для чего оппонентом подкорректированы предмет и объект исследования, а так же поставленная в работе цель.
4. Так как работа в большей степени носит экспериментальный характер, было бы более объективным при планировании экспериментальных исследований применить, например двухфакторный дисперсионный анализ с проведением обработки получаемых экспериментальных значений показателей и параметров по выбранным откликам. При этом достоверность этих результатов значительно была бы усилена.

Однако, отмеченные оппонентом замечания не снижают научную новизну, теоретическую значимость и практическую ценность самой диссертационной работы, а лишь только направляют внимание автора и авторитетной научной школы МАИ на соблюдение требований и рекомендаций ГОСТ 7.32 - 2001, ГОСТ Р 7.0.11-2011 и Положения о

присуждении ученых степеней при оформлении рукописи диссертации на соискание ученой степени кандидата наук.

При соблюдении автором выполненной квалификационной работы изложенных требований в руководящих документах, рукопись и описанные в ней результаты практически бы не подверглись критике, так как полученные в ней результаты заслуживают высокой оценки.

В целом рукопись диссертационной работы с выбранной автором подробной структурой содержания в виде 7 глав изложена последовательно и доказательно, в большей степени соответствует требованиям ГОСТ 7.32 - 2001, ГОСТ Р 7.0.11-2011 и содержит необходимые признаки научно квалификационной работы кандидата наук.

Автореферат диссертации соответствует содержанию диссертационной работы и достаточно полно раскрывает новизну полученных автором результатов, их теоретическую значимость и практическую ценность. Структура автореферата диссертации соответствует требованиям п.8 ГОСТ Р 7.0.11-2011.

Сама диссертационная работа имеет четкую логическую последовательность, написана литературным языком и доступна к профессиональному пониманию описываемой последовательности проведенных исследований и полученным новым научным результатам.

По теме диссертации опубликовано 9 работ, в том числе 2 статья в ведущих рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК РФ и 1 статья в журнале, входящем в международную систему цитирования «Skopus».

По результатам проведенных исследований автором диссертационной работы в соавторстве получено 3 патента РФ на изобретения ( пат. № 256838 от 06.06.2013, пат. № 2583099 17.10.2014, пат. № 2623401 от 28.10. 2015), что подчеркивает мировую новизну разработанных технологических и технических решений.

Публикации полностью соответствуют теме диссертационного исследования и раскрывают ее основные положения.

### ***Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней (п.23)***

1. Диссертационная работа Журавлева С.Ю. по своей научной новизне, теоретической значимости и практической ценности представляет законченную научную квалификационную работу, выполненную лично автором.

2. По содержанию, представленным новым научным результатам, диссертационная работа соответствует п. п. 3 - 5, 8,10 паспорта специальности научных работников 05.16.09 - Материаловедение (машиностроение). Отрасли науки - технические науки.
3. Диссертационная работа Журавлева С.Ю. является законченной научной работой, соответствует критериям раздела II п.9 Положения о присуждении ученых степеней (Постановление Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 « О порядке присуждения ученых степеней»), в которой изложены новые научно обоснованные технические, технологические решения и разработки по обоснованию и созданию многослойных термостойких радиопоглощающих структур композиционных материалов на основе тонкопленочных наноструктурированных углеродных покрытий, применяемых для защиты современной электроники от источников импульсных излучений и средств электронного воздействия, имеющие существенное значение для развития страны.
4. Автор диссертационной работы Журавлев С.Ю. достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 - Материаловедение (Машиностроение).

### Официальный оппонент

Ведущий научный сотрудник ИХФ РАН  
заслуженный деятель науки РФ,  
доктор технических наук, профессор

 Герасименя В.П.

Адрес ИХФ РАН: 119991, г. Москва, ул. Косыгина, д.4  
Эл/ почта [gerasimena\\_v\\_p@mail.ru](mailto:gerasimena_v_p@mail.ru)  
телефон ( 495)9397433

Подпись официального оппонента доктора технических наук, профессора Герасимени Валерия Павловича удостоверяю.

Ученый секретарь Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук (ИХФ РАН)

кандидат химических наук

«19» ноября 2018 г.

 Стрекова Л.Н.  
