

«УТВЕРЖДАЮ»

Ректор

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный
химико-технологический университет»



Н.Е. Гордина

12 сентября 2024 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации – федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ивановский государственный химико-технологический университет»
на диссертационную работу **Гайнутдинова Руслана Фаридовича «Научно-технологические основы управления показателями качества материалов для одежды специального назначения»**, представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.16. Технология производства изделий текстильной и легкой промышленности

Актуальность темы исследования

Сегодня жесткая конкуренция на мировом рынке требует повышения уровня потребительских свойств материалов, которые используются для производства защитных швейных изделий специального назначения. Выполнение этого невозможно без совершенствования производственных процессов или внедрения наукоемких, прогрессивных технологий.

Диссертационная работа посвящена разработке многофункциональных текстильных и кожевенных материалов для спецодежды (МТКМС), обладающих улучшенными показателями качества: высокой разрывной и раздирающей нагрузкой, требуемым разрывным удлинением и жесткостью при изгибе, устойчивостью к действию истирающих нагрузок, водоупорностью и гигроскопичностью, а также стойкостью к воздействию агрессивных сред (кислоте, щелочи) и бактерицидностью. Необходимые характеристики достигаются за счет наноструктурирования МТКМС в потоке неравновесной низкотемпературной

плазмы (ННТП) пониженного давления и наномодифицирования коллоидным раствором наночастиц серебра (КРНС).

Представленная диссертационная работа направлена на решение актуальной научной проблемы разработки научных основ и технологических подходов к управлению показателями качества материалов текстильной и легкой промышленности при применении потока ННТП пониженного давления и наномодифицирования КРНС. Это позволит производить МТКМС на основе хлопковых и льняных волокон, волокон шерсти, а также спилка с высокими показателями физико-механических, гигиенических и защитных свойств.

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» в рамках исследований «Разработка технологии управления микроструктурой натуральных материалов легкой промышленности для отраслей экономики Российской Федерации (энергетического, строительного, нефтехимического и оборонно-промышленного комплекса)» (соглашение № 14.577.21.0019 от 05.06.2014), выполненная по федеральной целевой программе «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2021 годы», а также поисковой НИР «Создание научных основ и разработка новых высокоэффективных технологий модификации материалов различной физической природы, включая формирование наноструктур, электрофизическими и электрохимическими методами» (Государственный контракт № 2196 от 01.02.2014), в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы».

Новизна исследований и полученных результатов, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации

Новизна работы заключается в разработке теоретических основ и экспериментальных методов, и методики реализации комбинированной технологии наноструктурирования потоком ННТП пониженного давления и наномодифицирования КРНС; научных положений, позволяющих управлять структурой МТКМС за счет регулирования параметров плазменного потока, прогнозирования и оценки качественных показателей образцов.

Автором исследования установлено, что воздействие потоком ННТП пониженного давления на МТКМС из натуральных волокон и их смесей, спилок кожевенного материала вызывает изменение микрорельефа их поверхности. Найдены оптимальные параметры плазменного воздействия, приводящие к улучшению эксплуатационных и защитных свойств материалов для спецодежды.

Автором впервые установлены следующие закономерности, выводы и результаты:

- предложено новое техническое решение для пропитки комплексным составом (МВО+ООП+КРНС), одновременно повышающей как гидрофобность и огнестойкость материалов спецодежды, так и их гигроскопичность, и бактерицидность;

- выявлены основные закономерности изменения показателей качества МТМС за счет регулирования технологических параметров потока ННТП пониженного давления в плазмообразующих газах аргон и воздух;

- доказано, что под воздействием ННТП происходит наноструктурирование МТКМС на толщину до 0,15 нм, а за счет КРНС на поверхности волокон концентрируется плотный слой атомов металла (максимально 100 нм), повышая физико-механические и защитные свойства от агрессивных сред и бактерий, которые на порядок превосходят контрольные образцы;

- установлено, что наноструктурирование текстильных материалов приводит к повышению показателя надежности образцов спецодежды в результате увеличения разрывной нагрузки ТМС из полульняной парусины и сукна шинельного до 39% по основе и до 35% по утку; соответственно относительного разрывного удлинения до 45%, что связано с уменьшением остаточного напряжения, процессов релаксации, увеличением упругости и эластичности волокон, а также сил сцепления нитей по сравнению с контрольными образцами. При этом конформационные изменения в микроструктуре волокон позволили повысить стойкость к истиранию полульняных тканей в 3-4 раза, а сукна шинельного на 16%; снизить жесткость при изгибе ТМС на 40% и 18% соответственно, а в спилке кожаного материала для спецодежды повысить предела прочности при напряжении 10 МПа на 13,5 % и удлинения до 35%, а также износостойкость на 26,2%, по сравнению с контрольными образцами;

- проведена оценка пористости ТМС и КМС с использованием объемно-взвешенного метода определения кажущейся и истинной плотности, а также толщины материалов. Использование метода показало увеличение общей пористости от 41% до 61 % и средней толщины материалов от 15 до 20 % по сравнению с контрольными образцами. Установлено, что после ННТП обработки гигроскопичность ТМС повысилась до 9,7%, а гигроскопичность и влагоотдача КМС соответственно на 30,2% и 30,5%, за счет увеличения общего объема пор до 1,4 раза, удельной поверхности пор в 1,5 раза и более эффективной сорбции пропитывающего агента по глубине материала.

На основе экспериментальных исследований и теоретического анализа обоснованы результаты исследований увеличения размера внутреннего объема пор волокнистых материалов за счет обработки микро- и нанопор потоком ННТП пониженного давления и КРНС, что позволило разработать физическую и математическую модели наноструктурирования и наномодифицирования пористой структуры материалов. Результаты расчетов, выполненные с использованием математической модели, и согласующиеся с ними данные экспериментальных исследований позволяют утверждать, что максимальная глубина проникновения

атомов плазмообразующего газа в поверхностный слой гидрофобной и бактерицидной пленки, состоящей из комплексной пропитки МВО и КРНС, составляет до 18 мкм. При этом около 95% атомов плазменного газа задерживается в слое толщиной 10 мкм при определенных технологических условиях обработки потоком ННТП пониженного давления.

В результате комплекса проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработаны научно-технологические основы управления показателями качества объектов исследования, повышающие физико-механические и защитные свойства МТКМС. Эффект достигается за счет комбинированной технологии наноструктурирования потоком ННТП пониженного давления и наномодифицирования КРНС, при воздействии комплексным составом пропитки (МВО+ОП+КРНС) на капиллярно-пористую структуру материалов, которые оказывают максимальное воздействие на глубине от 0,03 до 0,045 нм, после которого интенсивность ионного воздействия снижается. В процессе ионной бомбардировки поверхности тканей и кожи в потоке ННТП пониженного давления и «быстрого» проникновения атомов плазмообразующего газа на их внутренние поверхности, происходит рекомбинации заряженных частиц и перераспределение размеров пор МТКМС. Совместное влияние кинетической и потенциальной энергии ионов плазмообразующего газа приводит к возможности управления микроструктурой МТКМС. В результате плазменной обработки изменяются физико-механические показатели образцов за счет потока ННТП пониженного давления, который воздействует не только на поверхность материала, но также и на нити и волокна, расположенные в глубине, что объясняется эффектом объемной обработки пористых материалов.

Автором впервые экспериментально доказано, что итоговый уровень качества образцов спецодежды сварщика из наноструктурированных и наномодифицированных МТКМС после опытных носок в условиях промышленных производств сохраняется до 18 месяцев. При этом срок службы спецодежды максимально повышается в 2 раза в наномодифицированных и в 1,5 раза в наноструктурированных МТКМС, относительно контрольных образцов.

Результаты исследований являются новыми, полностью соответствуют выводам и рекомендациям, сделанным на их основе.

Личный вклад автора является решающим в выборе методик экспериментов; непосредственном участии в их проведении и разработке физико-математической модели процесса увеличения размера внутреннего объема пор волокнистых материалов за счет плазменной обработки микро- и нанопор потоком ННТП пониженного давления и КРНС; анализе и обобщении полученных теоретических и экспериментальных результатов, в разработке рекомендаций по их использованию в технологическом процессе производства многофункциональных текстильных материалов и спилка кожаного материала для изготовления защитных швейных изделий специального назначения. Научные результаты, включенные в диссертацию

и выносимые автором на защиту, получены соискателем лично. Соискатель представил методологические исследования, все вычислительные эксперименты, интерпретацию и анализ полученных результатов, сформулировал выводы. На основе полученных результатов автором данной работы были подготовлены выступления на конференциях, публикации в рейтинговых журналах. Автору присуждена премия Правительства Российской Федерации 2018 года в области науки и техники для молодых ученых за разработку технологий производства многофункциональных композиционных материалов легкой промышленности и их практическую реализацию в отраслях экономики Российской Федерации.

Теоретическая и практическая значимость полученных результатов

Разработан новый подход к управлению показателями качества МТКМС за счет комбинированной технологии наноструктурирования потоком ННТП пониженного давления и воздействия комплексного состава пропитки (МВО+ООП+КРНС) на капиллярно-пористую структуру материалов. Сформулированы теоретические представления об эффективной адсорбции комплексного состава пропитки при отделочных операциях; создана математическая модель прогнозирования поведения современных ТМС и КМС различных структур под действием условий обработки потоком ННТП пониженного давления и КРНС, которые воздействуют не только на поверхность МТКМС, но также и на нити и волокна, расположенные в глубине, что объясняется эффектом объемной обработки пористых материалов при которых повышаются физико-механические и защитные свойства.

Результаты проведенного мониторинга комплексной оценки уровня качества разработанных образцов МТКМС показали, что использование наноструктурированных и наномодифицированных МТКМС в производственных условиях, позволяет продлить срок службы спецодежды с одного года до двух лет. Уровень качества разработанных МТКМС по надежности и эксплуатационным показателям в 5-7 раз превышает аналоги, что подтверждается результатами мониторинга комплексной оценки качества образцов. Установлено, что наноструктурированный спилкок кожаного материала характеризуется повышением: предела прочности на 33%, удлинения при растяжении под напряжением 10 МПа - 36%, стойкости к истиранию на 16%, влагоотдачи и гигроскопичности на 30%, устойчивости окраски к сухому и мокрому трению на 100%, по сравнению с контрольными образцами. Это открывает возможность управлять показателями качества материалов за счет варьирования параметрами обработки.

На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований определены технологические параметры потока ННТП пониженного давления, позволяющие повысить уровень качества МТКМС с содержанием

натуральных волокон и спилка кожевенного материала. Установлены параметры режима плазменного наноструктурирования МТКМС, при которых наблюдается улучшение физико-механических, гигиенических и эксплуатационных свойств спецодежды, повышение стойкости к агрессивным средам (водным растворам солей, щелочей), огнестойкости и бактерицидности.

Выявлено, что наноструктурированные и наномодифицированные МТКМС, обеспечивают комбинированную защиту работников не только от теплового потока и расплава металла, но и брызг агрессивных кислот, щелочей, а также действия бактерий и грибков. Наноструктурированные ТМС имеют повышенную стойкость к агрессивным средам: в парусине устойчивость к кислотам возросла на 34- 39 %; в шинельном сукне на 39-45%, а в льносодержащей ткани устойчивость к щелочам увеличилась на 12-39%, по сравнению с контрольными образцами. Установлено, что разработан новый ассортимент отечественных МТКМС с показателями качества, превышающими в 1,5 раза контрольные образцы. Кроме того, наноструктурированные и наномодифицированные МТКМС сохраняют водоотталкивающие свойства поверхности тканей и кожи, а также гигроскопические свойства спецодежды в течение двух лет их эксплуатации.

В результате математического моделирования установлено, что процесс наноструктурирования МТМС происходит за счет передачи кинетической энергии «быстрых» атомов плазмообразующих газов звеньям полимерной цепи на поверхности микро- и нанопор, что приводит к увеличению гигроскопичности и более эффективной сорбции пропиток. Реализована проблема увеличения размера внутреннего объема пор волокнистых материалов за счет плазменной обработки микро- и нанопор потоком ННТП пониженного давления и КРНС, что позволило разработать физическую и математическую модели наноструктурирования и наномодифицирования пористой структуры материалов.

Теоретические и методологические положения работы использованы на предприятиях текстильной и легкой промышленности Российской Федерации. Разработаны рекомендации по применению потока ННТП пониженного давления в технологических процессах производства МТКМС для повышения уровня качества готового изделия, а также апробированы опытные образцы спецодежды из МТКМС с учетом требований ГОСТ и пожеланий заказчиков. Установлено, что применение наноструктурированных МТКМС позволяет увеличить срок эксплуатации спецодежды в 1,5–2,0 раза без потери уровня качества образцов материалов.

Структура и содержание работы

Диссертация состоит из введения, шести глав, общих выводов, списка использованной литературы и трех приложений с копиями документов. Работа изложена на 541 страницах машинописного текста, содержит 101 таблицу и 213

рисунков. Приложения представлены на 31 странице, список используемой литературы содержит 445 наименований.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационного исследования, поставлена цель и задачи работы, представлены научная новизна, теоретическая и практическая значимость результатов исследования, охарактеризована структура диссертационной работы.

В первой главе проведен анализ современного состояния рынка текстильных и кожевенных материалов для спецодежды и показатели их качества, приведены методы оценки показателей качества текстильных и кожевенных материалов и изделий из них. Представлен анализ требований к МТКМС и показателям их качества. Обоснованы методы повышения показателей качества МТКМС с использованием плазменных технологий и КРНС. Сформулированы основные задачи диссертации.

Во второй главе обоснован выбор объектов исследования. Представлено описание плазменных установок для наноструктурирования текстильных и кожевенных материалов, методик проведения экспериментов и аппаратуры для исследования параметров воздействия потока ННТП пониженного давления. Осуществлен выбор методов исследований показателей качества текстильных и кожевенных материалов и готовых швейных изделий из них. Представлены методики исследования структуры МТКМС. Проведена оценка параметров воздействия потоком ННТП пониженного давления для наноструктурирования МТКМС и наномодифицирования КРНС.

В третьей главе представлены результаты экспериментальных исследований управления показателями свойств МТКМС, а также структуры текстильных материалов для спецодежды под воздействием потока ННТП пониженного давления. Проведен анализ химического состава экспериментальных образцов МТКМС с использованием метода сканирующей электронной микроскопии, атомно-силовой микроскопии и ионно-пучкового метода исследования структуры образцов. Представлены результаты экспериментальных исследований влияния плазменной обработки на показатели качества надежности, стойкости и эксплуатационные показатели МТКМС.

В четвертой главе представлены результаты экспериментальных исследований МТКМС после применения технологического процесса наномодифицирования КРНС, включающие наноструктурирование в потоке ННТП пониженного давления с последующей обработкой растворами коллоидных наночастиц серебра для улучшения показателей качества спецодежды. Наномодифицирование экспериментальных образцов МТКМС проводили с целью придания им антибактерицидных свойств, путем применения композиционной пропитки с добавлением КРНС в ООП, МВО, СКППВО пропитки. Средний размер наночастиц серебра составил 16 нм. В качестве основных исследуемых показателей качества наномодифицированных МТКМС выбраны показатели надежности,

характеризующие механические свойства, а также эксплуатационные показатели и огнестойкости за счет наличия в растворе КРНС частиц металла, которые оказались выше 10%, относительно наноструктурированных образцов. Методом ИК-спектроскопии исследовали волокнообразующий полимер до и после плазменной обработки и наномодифицирования КРНС.

В пятой главе представлена вероятностная модель пористой структуры поверхности раздела фаз твёрдое тело–жидкость, проведена оценка их пористости. Для исследования взаимодействия потока низкоэнергетичных ионов с поверхностью МТКМС проведены количественные оценки с помощью математической модели.

Приведена вероятностная модель пористой структуры образцов МТКМС, наполненных композиционной пропиткой (ООП, МВО, СКППВО, КРНС), представлены теоретические основы процессов наноструктурирования МТКМС для повышения показателей качества. Произведена оценка внутренней поверхности структуры волокна многофункциональных текстильных материалов для спецодежды. Разработана математическая модель определения проницаемости гидрофобных пропиток в текстильные материалы после воздействия потока ННТП пониженного давления.

В шестой главе приводятся результаты исследований показателей качества спецодежды сварщиков из МТКМС до и после опытных носок и стирок спецодежды в производственных условиях. Проведены исследования ННТП и КРНС по огнестойкости и стойкости материалов к действию агрессивных сред (щелочи и кислоте). Произведена комплексная оценка уровня качества текстильных материалов и спилка кожаного материала по показателям надежности, стойкости и по эксплуатационным показателям качества спецодежды. Определен итоговый уровень комплексной оценки показателей качества текстильных материалов после эксплуатации спецодежды. В качестве критерия оценки показателя качества МТКМС выбрана остаточная разрывная нагрузка.

Представлено технико-экономическое обоснование по изготовлению опытных образцов многофункциональных текстильных и кожаных материалов спецодежды. Произведен расчет экономической эффективности от внедрения технологии производства новых МТКМС с использованием плазменной технологии наноструктурирования потоком ННТП пониженного давления и наномодифицирования КРНС.

Заключение диссертационной работы содержит основные выводы по результатам исследований и рекомендации по использованию результатов. Выводы соответствуют цели и задачам исследования.

В приложениях представлены акты промышленных предприятий, НИИ, подтверждающие практическое применение разработанных в диссертации материалов и технологий.

Соответствие паспорту специальности

Диссертационная работа соответствует паспорту научной специальности 2.6.16. Технология производства изделий текстильной и легкой промышленности в части пунктов:

- «Проектирование структуры и прогнозирование показателей свойств и качества волокон, нитей, материалов и ИТЛП» (п. 2);
- «Технологии (в том числе, нанотехнологии) волокон, нитей, материалов и ИТЛП» (п. 3);
- «Развитие теоретических основ проектирования и технологий переработки волокон, производства нитей, материалов и ИТЛП» (п. 10);
- «Разработка новых материалов, обеспечивающих высокие эксплуатационные свойства ИТЛП» (п. 19);
- «Воздействие излучений и плазмы на волокнообразующие полимеры природного и синтетического происхождения, волокна, ткани, кожевенно-меховые и другие ИТЛП» (п. 20).

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

Обоснованность и достоверность научных положений диссертации, полученных результатов и выводов, подтверждается использованием современной приборной базы: микроскопии с использованием конфокального лазерного сканирующего 3D микроскопа, атомно-силовой микроскопии, ИК - спектроскопии, рентгенографического фазового анализа, ионно-пучкового метода исследования структуры текстильных материалов. А также применением апробированных методик испытаний образцов МТКМС согласно ГОСТам, современных аттестованных измерительных средств, статистической обработки экспериментальных данных с доверительной вероятностью 0,97, а также математической модели наноструктурирования многофункциональных текстильных материалов, основанная на фундаментальных законах математики и современных методах решения.

Рекомендации по использованию результатов диссертационного исследования

Новые научно - практические решения автора и наработки партии натуральных целлюлозосодержащих и шерстяных тканей, используемые в производственных условиях предприятия ООО «Владимирский текстиль» (г. Владимир), ООО «Башкирский текстильный комбинат» (г.Туймазы), ООО «Тамир»

(г. Казань), позволили изготовить опытную партию спецодежды в ООО «Швейная мастерская Ирэн» (г. Казань) для опытных носок в производственных условиях, согласно представленным актам о производственной апробации результатов диссертационной работы Гайнутдинова Р.Ф. на ООО «Меткас» и ООО «Доротех» (г. Казань). Результаты опытно-промышленных испытаний на ОАО «КазХимНИИ» (г. Казань) позволяют расширить использование разработок автора на других предприятиях, а именно: ЗАО «Серпуховский кожевенный завод «Труд» (г. Серпухов); ООО «Рыбинский кожевенный завод» (г. Рыбинск); ООО «СОФТСТИЧ-М» (г. Москва); ООО «Эс-Дизайн» (г. Москва) и ООО НПО «Программируемые композиции» (г. Кострома).

Результаты диссертационной работы также могут быть использованы образовательными организациями при подготовке студентов и аспирантов по направлениям «Материаловедение и технологии материалов», «Технология изделий легкой промышленности», а также научными организациями в интересах продолжения исследований по созданию МТМС: ФГБОУ ВО «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна», ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет», ФГБОУ ВО «Костромской государственный университет», ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет».

Замечания по диссертационной работе

К диссертационной работе Гайнутдинова Руслана Фаридовича имеются следующие замечания и вопросы:

1. Во второй главе диссертации подробно изложены методы испытания и формулы их определения по ГОСТ для текстильных и кожевенных материалов. Достаточно было бы дать ссылку на источник.

2. С какой целью проводили комплекс экспериментальных исследований относительно расщепленных тканей?

3. В качестве основного материала у Вас рассматриваются ткани с гидрофобной, огнестойкой и маслостойкой пропитками «Парусина полульняная» (50% хлопка и 50% льна, 41% хлопка и 59% льна) и «Сукно шинельное» (87% шерсти и 13% полиэфир), а также спилки кожевенного материала. Для сравнения стоило бы испытать и другие волокнистые составы и пропитки МТМС иных производителей.

4. В формулировке практической значимости достигаемых результатов присутствуют фразы «Получены аналитические показатели надежности и эксплуатационные показатели...». Необходимо объяснить в сравнении с чем происходит это повышение или просто указать значения этих показателей.

5. Не совсем понятно, из табл. 6.16 главы 6 «Сравнительный анализ цен на МТКМС производства ООО «Сурский комбинат технических сукон», ООО «Владимирский текстиль» и ООО «Тамир»», каким образом определили стоимость наноструктурированных и наномодифицированных многофункциональных текстильных материалов для спецодежды.

6. Наиболее ответственный этап оценки качества текстильных материалов – это проведение испытаний в производственных условиях. Какие из показателей качества спецодежды максимально сохранили свой уровень после проверки?

7. Вы изготовили общее количество экспериментальных образцов спецодежды в количестве 200 единиц. Вы их сразу отдали в опытную носку или партиями?

Отмеченные замечания не снижают ценности проведенных исследований, значимости представленных результатов и общей положительной оценки диссертационной работы Гайнутдинова Р.Ф.

Заключение о работе

Диссертационное исследование Гайнутдинова Р.Ф. обладает научной новизной, теоретической и практической значимостью. Автореферат соответствует логике диссертационной работы и полностью отражает содержание диссертации. Полученные автором результаты исследования отвечают поставленным целям и задачам, работа содержит обоснованные выводы.

Диссертационная работа Гайнутдинова Руслана Фаридовича на тему «Научно-технологические основы управления показателями качества материалов для одежды специального назначения», соответствует требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям п.9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (в действующей редакции), и является завершенной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной проблемы по разработке научных основ и технологических подходов к управлению показателями качества материалов текстильной и легкой промышленности с применением потока ННТП пониженного давления и наномодифицирования КРНС, с целью существенного улучшения комплекса показателей надежности, стойкости и эксплуатационных характеристик при производстве высококачественных материалов для спецодежды.

Автор работы, Гайнутдинов Руслан Фаридович, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.16. Технология производства изделий текстильной и легкой промышленности.

Диссертационная работы обсуждена и одобрена на заседании кафедры химической технологии волокнистых материалов ФГБОУ ВО «Ивановский

