На правах рукописи



ГАРАФИЕВ АЙДАР РУСТЕМОВИЧ

РАЗРАБОТКА ПАКЕТОВ МАТЕРИАЛОВ С СОРБИРУЮЩИМ И МЕМБРАННЫМ СЛОЯМИ ДЛЯ ЗАЩИТНОЙ ОДЕЖДЫ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ АММИАКА И НЕФТЕПРОДУКТОВ

2.6.16. Технология производства изделий текстильной и легкой промышленности

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Казань 2026

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет».

Научный руководитель:	**Тихонова Наталья Васильевна**, доктор технических наук, профессор
Официальные оппоненты:	**Шустов Юрий Степанович**, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», заведующий кафедрой материаловедения и товарной экспертизы; **Левакова Наталия Марковна**, кандидат технических наук, Общество с ограниченной ответственностью «Текс-центр», генеральный директор.
Ведущая организация:	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановский государственный химико-технологический университет», г. Иваново.

Защита диссертации состоится «25» декабря 2026 года в 12:00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.312.12, созданного на базе ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», по адресу: 420015, г. Казань, ул. К. Маркса, 68, зал заседаний Ученого совета, А-330.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» и на сайте https://www.kstu.ru/servlet/contentblob?id=599580.

Отзывы на автореферат и диссертацию в 2-х экземплярах с подписями, заверенными печатью, просим направлять по адресу: 420015, г. Казань, ул. К. Маркса, 68, ФГБОУ ВО «КНИТУ», ученому секретарю диссертационного совета 24.2.312.12. В отзыве указываются фамилия, имя, отчество (полностью), ученая степень с указанием специальности, ученое звание, наименование организации и должность лица, представившего отзыв, с указанием структурного подразделения, почтовый адрес, телефон и адрес электронной почты (при наличии) (п. 28 Положения о присуждении ученых степеней).

Автореферат разослан «___» _____ 2026 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук  Н.В. Тихонова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Развитие современных производств, связанных с добычей, переработкой, транспортировкой и хранением токсичных веществ и нефтепродуктов, сопровождается сохранением риска возникновения чрезвычайных ситуаций и техногенных катастроф. За последнее десятилетие в России регистрировались аварии с выбросом химических веществ и нефтепродуктов, обусловленные нарушением герметичности трубопроводов, резервуаров, морских танкеров и повреждением инфраструктуры объектов нефтехимической промышленности. Для работников аварийных служб, персонала промышленных предприятий, специалистов по ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций и лиц, выполняющих работы в загрязненной среде, опасность представляет не только прямой контакт с жидкими загрязнителями, но и воздействие паров токсичных веществ, аэрозолей, продуктов горения и нефтяных фракций выбросов.

Изолирующие костюмы обладают высоким барьерным эффектом к токсинам и нефтепродуктам, однако их применение связано с существенной тепловой и физиологической нагрузкой на человека, ограничением длительности работы, снижением подвижности, затруднением тепло- и влагообмена. В существующих разработках представлены различные варианты химзащитных тканей, фильтрующих материалов, мембранных пакетов и сорбционно-фильтрующих систем. Вместе с тем, значительная часть решений ориентирована на защиту от конкретного опасного производственного фактора, но имеет ограничения по комфортности, паропроницаемости, технологичности получения материала, совместимости слоев и сохранности сорбента. Необходима разработка пакета материалов для защитной одежды, в котором за счет совместного действия текстильной основы, сорбирующего и мембранного слоев обеспечивается улучшенный комплекс эксплуатационных свойств, включая защитные свойства от воздействия вредных веществ.

Степень разработанности темы исследования. Обзоры современного ассортимента материалов для защитной одежды и их свойств представлены в работах Ищенко А.Д., Каюмовой Р.Ф., Киселева М.В., Лебедевой И.В., Солодушенковой Т.С., Фролова С.В., Хамматовой Э.А. и других. Свойства текстильного слоя пакетов материалов изучались Бесшапошниковой В.И., Гайнутдиновым Р.Ф. Курылевым Н.А., Петуховым А.Н., Хамматовой В.В., Шустовым Ю.С. Сорбенты в составе материалов для специальной одежды охарактеризованы в работах Завьялова В.В., Морозовой И.И., Тихоновой Н.В., Фасхутдиновой А.Ф. и ряда зарубежных исследователей. Мембраны в составе материалов для специальной одежды охарактеризованы в работах Дементьевой К.А., Панкевич Д.К., Самарской Н.Н., Федоровой Н.Е. и других.

При этом вопросы создания пакетов для защитной одежды фильтрующего типа, включающих текстильный материал, сорбирующий и мембранный слои, методики оценки их свойств и технологии получения пакетов изучены недостаточно.

Работа направлена на решение актуальной проблемы разработки пакетов материалов с сорбирующим и мембранным слоями для защиты от воздействия аммиака и нефтепродуктов.

Работа выполнена во ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», в ходе экспериментальных исследований использовались методики и аналитическое оборудование центра коллективного пользования «Нанотехнологии и наноматериалы» и комплексной лаборатории «Наноаналитика» ФГБОУ ВО «КНИТУ».

В диссертационной работе изложены результаты научных исследований автора с 2023 по 2026 гг. в области оценки свойств текстильных материалов, сорбентов, мембран и результаты разработки и исследования свойств пакета материалов с сорбирующим и мембранным слоями для защитной одежды от воздействия аммиака и нефтепродуктов.

Область исследования соответствует научной специальности 2.6.16 – «Технология производства изделий текстильной и легкой промышленности»: п. 2. Проектирование структуры и прогнозирование показателей свойств и качества волокон, нитей, материалов ИТЛП; п. 3. Технологии (в том числе, нанотехнологии) волокон, нитей, материалов и ИТЛП; п. 19. Разработка новых материалов, обеспечивающих высокие эксплуатационные свойства ИТЛП.

Цели и задачи. Целью диссертационной работы является разработка текстильных материалов с сорбирующим и мембранным слоями и технологии получения пакетов материалов для защитной одежды от воздействия аммиака и нефтепродуктов с улучшенным комплексом эксплуатационных свойств.

Для достижения поставленной цели в работе решались следующие задачи:

1. Проанализировать современный ассортимент материалов для специальной одежды, существующие разработки сорбционно-фильтрующих и мембранных материалов, а также способы соединения слоев в пакетах материалов для защитной одежды.

2. Обосновать выбор объектов и методов оценки текстильных материалов, сорбентов, мембран и опытных пакетов, разработать методику создания экспериментальных образцов и методику таксонометрической оптимизации состава слоев.

3. Произвести экспериментальную оценку свойств текстильных материалов, сорбентов, мембран, промышленно-производимых химзащитных материалов, спроектировать состав пакета, установить механизм защитного действия при воздействии газовоздушных смесей нефти и аммиака.

4. Разработать технологическую схему производства пакетов материалов с сорбирующим и мембранным слоями, провести испытания опытных образцов и обосновать экономическую эффективность внедрения.

Объектом исследования являются многослойные пакеты материалов, предназначенные для производства защитной одежды от воздействия вредных веществ, их компоненты и технологии получения пакетов.

Предметом исследования – эксплуатационные, в том числе защитные, свойства пакетов материалов в зависимости от состава и структуры текстильно-

го материала, углеродного сорбента, мембранного слоя и метода их взаимного соединения.

Научная новизна работы.

1. Разработана и научно обоснована модель пакета материалов для защитной одежды, в которой улучшенный комплекс эксплуатационных и защитных свойств обеспечивается совместным действием натурального текстильного материала, угольного сорбционного слоя и беспоровой гидрофильной полиуретановой (ПУ) мембраны. Текстиль выполняет несущую и гигиеническую функции, угольный сорбционный слой отвечает за поглощение паров и газов, мембрана ограничивает перенос вредных веществ через пакет при сохранении паропроницаемости материала.

2. Разработана и апробирована методика таксонометрического анализа состава пакета материалов для защитной одежды, заключающаяся в многокритериальной оценке комплекса эксплуатационных свойств материалов и позволяющая ранжировать ассортимент текстильных материалов, сорбентов, мембран по приоритету включения в пакет материалов.

3. Экспериментально обоснованы составы пакетов материалов целевого назначения: для защиты от газовоздушной смеси нефтепродуктов наиболее эффективным является пакет, включающий ткань «Саржа», активированный уголь «Каусорб» и мембрану «Порелле П600», обеспечивающий время защитного действия 10 ч; для защиты от газовоздушной смеси аммиака обоснован пакет на основе ткани «Саржа», активированного угля «ФАС» и мембраны «МТ-1», обеспечивающий время защитного действия 47,17 мин.

4. Установлен механизм защитного действия разработанных пакетов при воздействии газовоздушных смесей аммиака и нефтепродуктов с учетом природы токсиканта, структуры сорбента и свойств мембранного слоя: защита от неполярных нефтяных углеводородов обеспечивается за счет их физической адсорбции в микропорах углеродного сорбента и замедления диффузии беспоровой ПУ мембраной; защита от легколетучего полярного аммиака обусловлена его физико-химическим взаимодействием с полярными группами ПУ мембраны через донорно-акцепторные и водородные связи, а также сорбционным удержанием на углеродной поверхности.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Теоретическая значимость диссертационной работы состоит в развитии научных представлений о методах формирования и свойствах пакетов материалов с сорбирующим и мембранным слоями для защитной одежды; методах многокритериального анализа и оптимизации состава материалов в пакете; механизмах обеспечения защитных свойств материалов от воздействия аммиака и нефтепродуктов.

Практическая значимость:

1. Разработана экспериментальная методика создания пакетов материалов «текстильный слой – угольный сорбент – мембрана» с применением ультразвукового (УЗ) скрепления слоев.

2. Установлены технологические параметры процессов каландрирования и УЗ-сварки для получения пакетов материалов в опытно-промышленных условиях с применением рулонной установки непрерывной точечной УЗ-сварки серии «Волна» с рабочей частотой 20–35 кГц, скоростью сварки до 50 м/мин и регулируемой плотностью точек скрепления 2,5–4,0 %.

3. Получены пакеты материалов:

- ткань «Саржа» – уголь «Каусорб» – мембрана «Порелле П600», превосходящий химзащитный материал (ХЗМ) «ММС-Т» по времени защитного действия (ВЗД) от газовоздушной смеси нефтепродуктов в 9,21 раза, по разрывной нагрузке по основе на 66,0% и по утку на 53,4%, по относительному удлинению по утку на 33,1%, по раздирающей нагрузке по утку на 12,7%, по удельной поверхности в 5,95 раза, по объему пор в 3,67 раза и по паропроницаемости на 20,7 %.

- ткань «Саржа» – уголь «ФАС» – мембрана «МТ-1», превосходящий ХЗМ «ММС-Т» по ВЗД от газовоздушной смеси аммиака в 12,30 раза, по разрывной нагрузке по основе на 68,0% и по утку на 61,8%, по относительному удлинению по утку на 41,9%, по раздирающей нагрузке по утку на 10,1%, по удельной поверхности в 7,85 раза и по объему пор в 7,19 раза.

4. Разработана технологическая схема производства пакетов материалов с сорбирующим и мембранным слоями для защитной одежды от воздействия аммиака и нефтепродуктов.

Результаты диссертационного исследования внедрены в производство АО «КазХимНИИ». Ожидаемый экономический эффект от внедрения разработанной технологии при годовом выпуске 144 тыс. пог. м. обеспечивает чистую прибыль 14,759 млн руб. в год.

Объекты и методы исследований.

В качестве объектов исследования выбраны:

- текстильные материалы: «Саржа» арт. ЦЦ35668 (ГК «Балтийский текстиль»), «Брезент» арт. 11135 (ООО «ТканиТЕКС»), «Молескин» арт. С-159 ЮГ и арт. С-174 ЮГ (ООО «Ивановский меланжевый комбинат»);

- промышленно-производимые ХЗМ: «ММС-Т» (АО «КазХимНИИ»), «Форм», «Биоформ», «ХЗМ 8318», «Митрон» (ООО НПФ «Фабитекс»);

- сорбенты – активированные угли: «ФАС» и «ФАС мелкий», «МеКС», «ВСК 8-30», «ВСК А-2» (АО ЭНПО «Неорганика»), «Сорбер-10», «Даусорб» и «Каусорб» (АО «Сорбент»);

- мембраны: «Порелле П600», «Меркуритекс Турбо» (ООО «Фотопринт-Иваново», «МТ-1» (ООО «Мембранные технологии»), «Данафлекс» (ООО «Данафлекс-нано».

В работе использованы методы определения: паропроницаемости по ГОСТ Р 12.4.287–2013; разрывной нагрузки, удлинения раздирающей нагрузки текстильных материалов по ГОСТ 3813–72; прочности мембран по ГОСТ Р 50111–92. Применяли методы Брунауэра-Эммета-Теллера (БЭТ) и Барретта-Джойнера-Халенды (БДжХ) для определения параметров пористой структуры; микроскопический анализ поверхности текстиля, сорбентов, мембран; методы ИК-

спектроскопии и совмещенного дифференциально-термического и термогравиметрического анализа (ДТА и ТГА). Оценивали ВЗД при воздействии газообразного аммиака и газовоздушной смеси нефти.

Для анализа структуры и свойств материалов применялось испытательное оборудование: цифровой микроскоп Levenhuk D85L LCD; ИК-спектрофотометр Perkin Elmer FT-IR Spectrum Two, оборудованный алмазной приставкой нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО); синхронный термоанализатор STA 6000; универсальная испытательная машина Shimadzu AGS-5000 N и разрывная машина Метротест РЭМ-5-1; анализатор пористой структуры Nova 1200e Quantachrome Instruments. Обработка данных выполнялась с использованием статистических методов и таксонометрического анализа, позволяющего ранжировать материалы по совокупности признаков.

Положения, выносимые на защиту:

1. Модель пакета материалов защитной одежды, включающего натуральную ткань, угольный сорбирующий слой и беспоровую гидрофильную ПУ мембрану, обеспечивающего улучшенные эксплуатационные, в том числе защитные, свойства, с назначением марки сорбента и мембраны по природе задерживаемого вещества.

2. Методики: получения двуслойных и трехслойных пакетов материалов; таксонометрического анализа состава пакета материалов.

3. Результаты экспериментальных исследований механических, сорбционных, структурных, защитных характеристик текстильных материалов, сорбентов, мембран, пакетов и таксонометрической оптимизации состава слоев в пакете материалов.

4. Механизмы защитного действия разработанных пакетов при воздействии газовоздушных смесей: аммиака, посредством его донорно-акцепторного связывания уретановыми и мочевинными группами ПУ; нефти, за счет физического задерживания неполярных углеводородов вследствие их ограниченной растворимости, затрудненной диффузии и адсорбции в микропорах сорбента.

5. Технологическая схема получения пакета материалов с сорбирующим и мембранным слоями для защитной одежды от воздействия аммиака и нефтепродуктов.

Достоверность полученных результатов и выводов подтверждается использованием апробированных методик испытаний согласно ГОСТ и современных инструментальных средств измерений показателей свойств, обеспечивающих высокий уровень точности данных. Обработку результатов экспериментальных исследований проводили с применением методов математической статистики. Расчеты производили в программном продукте Statistica 10.0.

Апробация работы и публикации. Результаты работы обсуждались на VII международной научно-практической конференции «Современные пожаробезопасные материалы и технологии» (Иваново, 2024); Всероссийской научно-практической конференции «Легкая промышленность: проблемы и перспективы» (Омск, 2024); III Всероссийской конференции с международным участием «Современные методы получения материалов, обработки поверхности и нане-

сения покрытий» (Казань, 2025, 2026); VI Международной научно-практической межвузовской конференции «Исследования ВКР – в практику профессиональной жизни» (Москва, 2026); IV Всероссийской конференции ученых, аспирантов и студентов с международным участием «Новации в процессах проектирования и производства изделий легкой промышленности» (Казань, 2026); XXII Всероссийской научно-практической конференции для студентов и молодых ученых с международным участием (Казань, 2026).

Личный вклад автора состоит в постановке цели и задач исследования; выборе и обосновании методик исследований; в проведении экспериментальных исследований; интерпретации, анализе, обработке и обобщении полученных экспериментальных данных; в разработке рекомендаций по производству пакетов материалов с сорбирующим и мембранным слоями для защитной одежды от воздействия аммиака и нефтепродуктов. Автором лично или при его непосредственном участии проведена работа по публикации результатов исследований в виде статей в отечественных журналах.

Публикации. Результаты работы отражены в 12 печатных работах, в том числе в 4 статьях входящих в перечень научных изданий, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, остальные в материалах конференций всероссийского и международного уровня.

Структура и объем работы: Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и приложений. Работа изложена на 217 страницах машинописного текста, содержит 23 рисунка и 45 таблиц. В тексте приведены ссылки на 162 литературных источника.

Выражаю глубокую благодарность д.т.н., профессору Абуталиповой Людмиле Николаевне, д.т.н., профессору Зенитовой Любови Андреевне, д.ф.-м.н., доценту Желтухину Виктору Семеновичу за помощь в обсуждении результатов работы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении представлено обоснование актуальности темы диссертационной работы, поставлена цель и определены задачи для ее достижения, приведены научная новизна, практическая значимость полученных результатов и структура диссертационной работы.

В первой главе представлен современный ассортимент материалов для спецодежды и обоснована необходимость его расширения. Приведен обзор разработок пакетов материалов защитной одежды и их свойств. Дана характеристика слоев в пакетах материалов с сорбирующим и мембранным слоями, в том числе текстильных материалов и их свойств, сорбентов и мембран. Обоснована модель пакета материалов на основе выявленных преимуществ и недостатков отдельных слоев (рисунок 1).



Рисунок 1 - Модель пакета материалов

Преимущества натуральной ткани: развитая волокнистая поверхность, паропроницаемость, физиологичность. Угольный сорбент: развитая микро-, мезо- и макропористость, высокая сорбционная ёмкость, задержание широкого спектра паров. Беспоровая мембрана: отсутствие сквозных каналов - барьер для жидкой фазы вредных веществ и перенос паров по сорбционно-диффузионному механизму.

Охарактеризованы технологии скрепления слоев и получения пакетов материалов для защитной одежды, обоснованы преимущества технологии УЗ-сварки для получения многослойных текстильных материалов с сорбирующим и мембранным слоем.

Во второй главе обоснован выбор объектов исследования. Приведены методы определения свойств текстильных материалов, сорбентов и мембран, включая методы оценки эксплуатационных, в том числе защитных, характеристик и методы оценки структуры и состава объектов исследования. Охарактеризованы методы статистической обработки результатов исследования. Представлена рекомендуемая методика создания экспериментальных образцов двуслойных (ткань-сорбент) и трехслойных (ткань-сорбент-мембрана) пакетов материалов с применением технологии УЗ-сварки (рисунок 2).

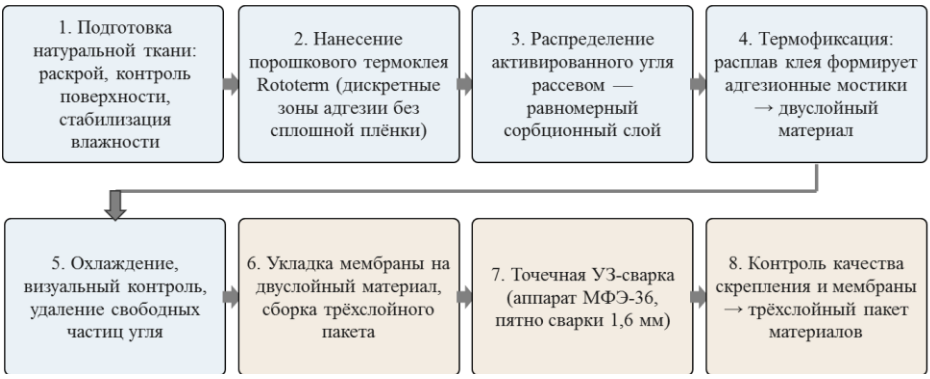


Рисунок 2 – Блок-схема методики создания экспериментальных образцов двух- и трехслойных пакетов материалов

Предложена методика таксонометрической оптимизации состава слоев пакета материалов (таблица 1), позволяющая сопоставлять объекты исследования с большим числом оцениваемых свойств, когда простое сравнение затруднительно.

Таблица 1 – Методика таксонометрического анализа

Этапы методики	Расчетные формулы
1. Составление исходной матрицы наблюдений X	$X = [x_{ij}], i = 1,2,\dots,m; j = 1,2,\dots,n$ m - число сравниваемых объектов, n – число признаков, xij – значение j-го признака для i-го объекта
2. Стандартизация признаков, приведение к безразмерному виду	Стандартизированное значение: $z_{ij} = \frac{x_{ij} - m_j}{\sigma_j}$ zij – стандартизованное значение j-го признака для i-го объекта, xij –исходное значение признака, mj – среднее значение j-го признака по совокупности объектов, σj среднее квадратическое отклонение данного признака. Среднее значение и среднее квадратическое отклонение: $m_j = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} x_{ij}$ $\sigma_j = \sqrt{\frac{1}{m-1}\sum_{i=1}^{m}(x_{ij} - m_j)^2}$ суммирование выполняется по всем i от 1 до m. После стандартизации формируется новая матрица Z, в которой все признаки приведены к сопоставимому виду.
3. Выделение стимуляторов и дестимуляторов, задание эталонной точки	$z_{0j} = \max_{1\le i\le m} z_{ij}$ для стимуляторов $z_{0j} = \min_{1\le i\le m} z_{ij}$, для дестимуляторов Максимум и минимум берутся по индексу i, то есть по всем сравниваемым объектам для каждого признака j. Дестимулятор - показатель (признак) значение которого, чем меньше, тем лучше для пакета материалов.
4. Расчет расстояния каждого объекта до эталонной точки	Средняя абсолютная разница стандартизованных значений признаков: $c_{i0} = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}(z_{ij} - z_{0j})^2},$ Среднее расстояние между объектами: $\bar{c}_0 = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} c_{i0}$ Среднее квадратическое отклонений расстояний: $S_0 = \sqrt{\frac{1}{m-1}\sum_{i=1}^{m}(c_{i0} - \bar{c}_0)^2}$ Максимально допустимое расстояние до эталона по правилу трех сигм: $c_0 = \bar{c}_0 + 3S_0$ Показатель уровня: $d_i = \frac{c_{i0}}{c_0}$ Таксонометрический коэффициент: $K_i = 1 - d_i,$ ci0 – расстояние i-го объекта до эталона, zij – стандартизованное значение j-го признака для i-го объекта, z0j – эталонное значение j-го признака. Чем меньше значение ci0, тем ближе рассматриваемая марка материала к оптимальному сочетанию свойств.

Чем ближе значение Ki к единице, тем предпочтительнее включение объекта (конкретной марки ткани, сорбента, мембраны) в пакет, вследствие большей сбалансированности набора эксплуатационных свойств.

В третьей главе представлены результаты экспериментальных исследований свойств текстильных материалов, сорбентов, мембран и промышленно-производимых химзащитных материалов. Приведены результаты апробации методики таксонометрического анализа. Отражены результаты оценки защитных свойств отдельных слоев и пакетов материалов при воздействии аммиака и нефтепродуктов. Охарактеризован механизм защитного действия с учетом структуры и свойств сорбирующего и мембранного слоя.

Оцененные показатели свойств тканей, мембран, сорбентов и их значения приведены в таблицах 2-4. Наибольшие значения показателей выделены курсивом. Таксонометрические коэффициенты и ранг (приоритет) включения конкретного материала в пакет по наилучшему совокупному набору характеристик (из изученных) также приведены в таблицах.

Таблица 2 – Сводная характеристика тканей

Свойства	Саржа	Брезент	Молескин С-159 ЮГ	Молескин С-174 ЮГ
Поверхностная плотность, г/м²	*240*	400	280	250
Прочность по основе, МПа	*26,51*	18,46	25,92	26,12
Прочность по утку, МПа	*19,81*	13,48	11,68	16,67
Удлинение по основе, %	28,39	3,90	*34,28*	29,92
Удлинение по утку, %	*18,32*	12,89	6,14	5,71
Раздирающая нагрузка по основе, Н	34,14	*37,89*	14,72	12,76
Раздирающая нагрузка по утку, Н	41,94	*55,18*	28,23	24,77
Размер пор, нм	5,43	7,26	10,04	*14,05*
Объем пор, см³/г	0,0277	0,0225	0,0626	*0,0855*
Удельная поверхность, м²/г	20,46	12,41	*24,96*	24,35
Паропроницаемость, г/(м²·ч)	36,67	39,00	38,00	*42,67*
Таксонометрический коэффициент Ki	0,5067	0,1932	0,3030	0,3487
Ранг	1	4	3	2

Таблица 3 – Сводная характеристика сорбентов

Сорбент	Прочность частиц, МПа	Удельная поверхность, м²/г	Объем пор, см³/г	Размер пор, нм	Ki	Ранг
Даусорб	7,50	838,27	0,3330	2,34	0,3760	8
Каусорб	10,96	790,13	0,3689	2,23	0,3765	7
МеКС	8,68	999,86	0,5896	2,36	0,4626	4
ВСК 8-30	8,28	1235,28	0,7045	2,28	0,5046	3
ВСК А-2	4,05	1014,10	0,5834	2,30	0,4493	5
ФАС	59,66	997,11	*0,9592*	*3,85*	*0,9323*	2
ФАС мелкий	*98,25*	*2216,57*	0,8527	3,63	0,6704	1
Сорбер-10	23,03	849,11	0,5019	2,36	0,4476	6

Таблица 4 - Сводная характеристика мембран

Показатель	Данафлекс	Порелле П600	МТ-1	Меркури-текс Турбо
Угол смачивания водой, град	*111,0*	71,8	102,4	91,8
Угол смачивания нефтью, град	17,6	21,2	15,4	*23,0*
Прочность, МПа	3,71	7,53	*10,62*	8,83
Удельная поверхность, м²/г	121,90	96,71	183,64	*332,06*
Размер пор, нм	9,20	10,32	*11,00*	3,71
Объем пор, $см^3/г$	0,2804	0,2495	*0,5052*	0,4555
Паропроницаемость, г/м² за 24 ч	5460	*5650*	3150	3700
Ki	0,4097	0,8099	0,4305	0,4050
Ранг	3	1	2	4

По данным таксонометрического анализа «Саржа» предпочтительна в качестве текстильной основы пакета, ниже ранг у марок «Молескин», наименьший приоритет включения в пакет у ткани «Брезент». В группе мембран лидирует марка «Порелле П600», второе место у «МТ-1». Среди сорбентов первый ранг у угля «ФАС мелкий» по совокупности расчетных признаков. Однако при формировании пакетов материалов для защитной одежды, кроме марок угля с развитой поровой структурой, важна прочность частиц и технологичность их нанесения и закрепления. В группе дробленных, а не гранулированных углей (таких как марки «ФАС» и «Сорбер-10»), «Каусорб» предпочтителен по прочности. По технологичности нанесения и устойчивости закрепления, в связи с более крупными фракциями частиц, для получения двух- и трехслойных образцов выбраны «ФАС», «Каусорб», «ВСК А-2». Для закрепления угля во всех пакетах материалов применяли клей Рототерм. Результаты оценки ВЗД мембран и пакетов к газовоздушной смеси нефтепродуктов и к аммиаку сведены в таблицу 5.

Таблица 5 - ВЗД материалов к воздействию аммиака и нефти

Наименование материала/пакета	ВЗД (аммиак)	ВЗД (нефть)
Мембрана МТ-1	*9,33 мин*	39 мин
Мембрана Порелле П600	6,67 мин	*75 мин*
Мембрана Меркуритекс Турбо	4,45 мин	61 мин
Мембрана Данафлекс	4,17 мин	12, 67 мин
Ткань Молескин С-174 ЮГ, уголь Каусорб	3,00 мин	15 мин
Ткань Саржа, уголь Каусорб	*5,83* мин	*45 мин*
Ткань Саржа, уголь Каусорб, мембрана Порелле П600	17,67 мин	*10 ч*
Ткань Саржа, уголь ВСК А-2, мембрана Порелле П600	19,83 мин	8 ч
Ткань Саржа, уголь ФАС, мембрана Порелле П600	38,00 мин	8 ч
Ткань Саржа, уголь ФАС, мембрана МТ-1	*47,17 мин*	-

Наибольшее ВЗД по нефти показала мембрана «Порелле П600» – 75 мин, что в 5,92 раза превышает результат «Данафлекс»; по аммиаку лучший результат у мембраны «МТ-1» – 9,33 мин. Двуслойный пакет на основе ткани «Саржа»

обеспечил ВЗД по нефти 45 минут и по аммиаку 5 минут 50 секунд, что соответственно втрое и вдвое превосходит пакет на основе марки «Молескин».

Трехслойный пакет: ткань «Саржа», уголь «ФАС», мембрана «МТ-1» лидирует по ВЗД к аммиаку (47,17 мин); пакет: ткань «Саржа», уголь «Каусорб», мембрана «Порелле П600» – по ВЗД к нефти, составляющему 10 ч.

Для установления механизмов защитного действия пакетов от воздействия газовоздушной смести нефти и паров аммиака оценивали состав и структуру ПУ мембран методом ИК-спектроскопии (рисунок 3).

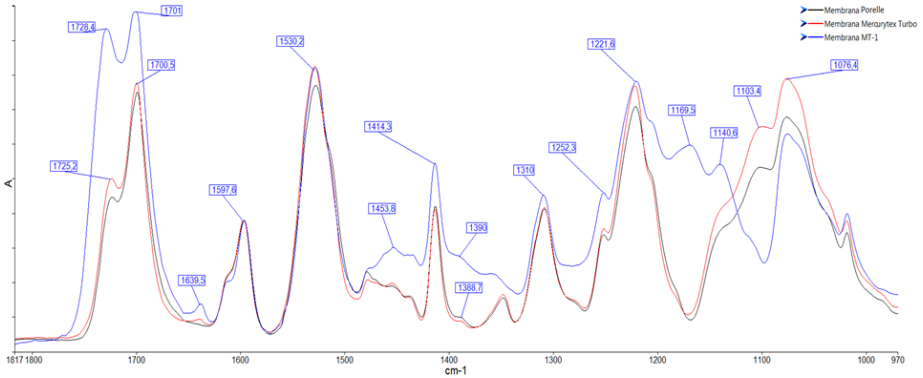


Рисунок 3 – ИК-спектры мембран «Порелле П600», «Меркуритекс Турбо» и «МТ-1»

На ИК-спектрах выявлены полосы, характерные для ПУ: 1076 и 1103 $см^{-1}$ - симметрические и асимметрические колебания связи С–О–С простых полиэфиров; 1598 $см^{-1}$ с - валентные колебания С=С в ароматическом кольце изоцианатного компонента; 1414 и 1310 $см^{-1}$ - колебания С–N и N–H в уретановых и мочевинных фрагментах, полоса 1414 см-1 относится с триизоциануратным фрагментам; 1390 $см^{-1}$ - С–N колебания в уретониминных структурах; 1725 $см^{-1}$ соответствует свободным, неассоциированным карбонильным группам в уретановом фрагменте; 1700 $см^{-1}$ связана с ассоциированными уретановыми группами, включенными в систему водородных связей; 1639 $см^{-1}$ - наличие С=О групп мочевины; 1530 $см^{-1}$ -область С–N и N–H колебаний уретановых и мочевинных структур; 1221 $см^{-1}$ - С–О колебания в уретанах.

При сопоставлении исходных спектров ПУ материалов установлено, что мембраны близки по химической природе, но различаются соотношением полиольной («мягкой») и изоцианатной («жесткой») частей. Мембрана «МТ-1» содержит большее число уретановых групп и «жестких» сегментов.

По результатам сравнения кривых ДТА, ТГ, ДТГ выявлены основные различия термического поведения мембран (таблица 6). Данные термического анализа согласуются с ИК-спектроскопией. Так, для мембраны МТ-1 установлены: повышенная остаточная масса относительно других мембран (по ТГ кривым); большее число максимумов скорости потери массы в области высоких температур (по ДТГ); смещение первого максимума скорости потери массы в высокотемпературную область (по ДТГ); эффекты по кривым ДТА в области высоких

температур при 487°С (экзо) и 626°С (эндо), что подтверждает наличие в структуре «МТ-1» более термостойких фрагментов, вследствие большего числа уретановых групп, создающих центры для донорно-акцепторных и водородно-связанных взаимодействий.

Таблица 6 - Данные ДТА, ТГ, ДТГ

Показатель	Порелле П600	МТ-1	Меркуритекс Турбо
Остаточная масса по ТГ, % масс.	3,79	14,96	8,29
Максимумы ДТГ, °С	301, 388, 544	315, 377, 391, 487, 530, 664	42, 315, 415, 541
Эффекты ДТА, °С ↓ – эндо и ↑ – экзо эффекты	275↓, 325↓, 418↓, 538↓, 581↓	325↓, 487↑, 626↓	312↓, 416↓, 499↑, 540↑, 580↓

Выше выявлено (таблица 4), что «МТ-1» имеет развитую внутреннюю поверхность 183,64 м²/г и максимальный объем пор 0,5052 см³/г среди других мембран, в 2 раза превышающий объем пор «Порелле П600». Совокупность данных о большем числе «жестких» фрагментов у «МТ-1» по данным ИК-спектроскопии, ДТА, ТГ и ДТГ и его развитой доступной внутренней поверхности объясняет лучшее ВЗД по аммиаку. Аммиак представляет собой низкомолекулярную полярную молекулу с дипольным моментом 1,47 Д и кинетическим диаметром около 0,26 нм. Малый размер и высокая подвижность обеспечивают его быстрое проникновение через полимерные и пористые структуры. Защитное действие определяется физико-химическим удержанием, т. к. уретановая группа –NH–CO–O– содержит центры, способные взаимодействовать с аммиаком. Атом водорода при азоте является донором протона и может связываться с неподеленной парой азота аммиака, выступающего донором электронной пары, а карбонильный кислород, напротив, служит донором электронной пары для протона аммиака (рисунок 4 а, б).

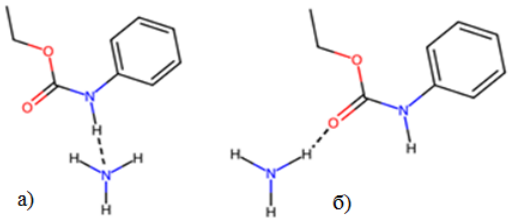


Рисунок 4 – Схемы физико-химических процессов при воздействии на ПУ мембраны паров аммиака:
а) комплекс по уретановой группе $N\text{-}H\cdots:NH_3$;
б) комплекс по карбонильной группе $C{=}O\cdots H\text{-}NH_2$

Эффективность пакета материалов защитной одежды с углем «ФАС» от воздействия аммиака объясняется тем, что данный сорбент имеет развитую микромезопористую структуру, удельную поверхность 997,11 м²/г и объем пор 0,9592 см³/г, наибольший относительно других углей (таблица 3). Такая поровая структура повышает доступность сорбционных центров для малой полярной молекулы.

Газовоздушная смесь нефти состоит преимущественно из неполярных углеводородов с высокой молекулярной массой и меньшей подвижностью по

сравнению с аммиаком, не образующих донорно-акцепторных связей с уретановыми группами. Перенос углеводородов определяется физическими процессами, включая смачивание поверхности мембраны, растворение в полимерной фазе, диффузию через доступный свободный объем и дисперсионную адсорбцию в микропорах углеродного сорбента. «Порелле П600» имеет минимальную удельную поверхность среди изученных мембран 96,71 м²/г и минимальный объем пор 0,2495 см³/г (таблица 4). При среднем размере пор 10,32 нм материал не является полностью непроницаемым, но его доступный внутренний объем ниже, чем у «МТ-1». В случае водяного пара это не препятствует сорбционно-диффузионному переносу, а при воздействии нефтяных углеводородов сокращается вероятность их накопления и последующей диффузии через мембрану.

Вклад сорбирующего слоя в удержание паров нефти определяется соответствием его поровой структуры размеру углеводородных молекул. «Каусорб» имеет удельную поверхность 790,13 м²/г, объем пор 0,3689 см³/г и размер пор 2,23 нм (таблица 3). Также для «Каусорб» методом БЭТ зарегистрирована изотерма типа Ia, характерная для узких микропор до 1 нм. В таких порах крупные неполярные молекулы удерживаются за счет дисперсионных взаимодействий.

В четвертой главе разработана технологическая схема производства пакета материалов с сорбирующим и мембранным слоями для защитной одежды от воздействия аммиака и нефтепродуктов (рисунок 5), отражены технологические параметры работы участка каландрирования и непрерывной точечной УЗ-сварки. Приведены результаты испытаний опытных образцов пакетов материалов (таблица 7). Представлено экономическое обоснование внедрения в производство пакета материалов.

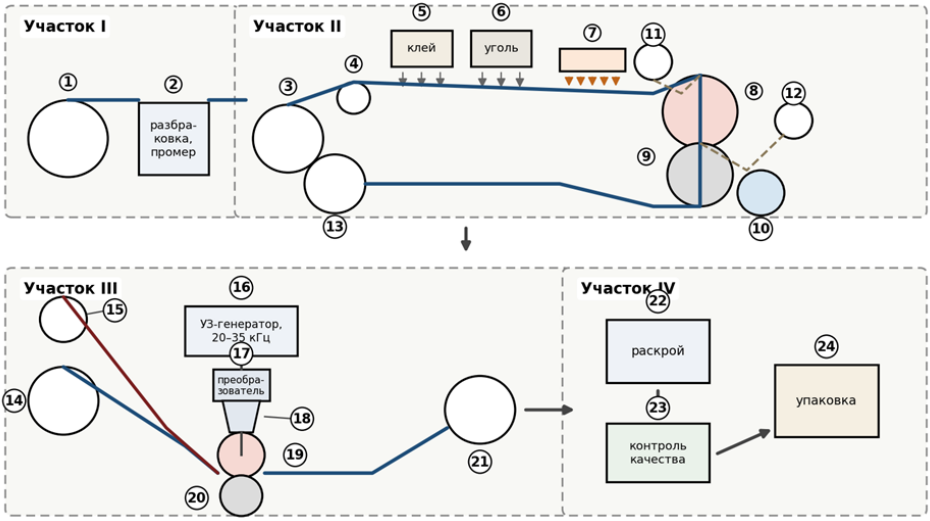


Рисунок 5 – Общая схема производства пакета материалов

Участок I – подготовка текстильного материала: 1 - раскаточная стойка с рулоном ткани; 2 - разбраковочно-промерочная машина перед подачей в каландр.

Участок II – каландрирование: 3 - раскаточный вал каландра для заправки ткани; 4 - направляющий вал; 5 - дозатор порошкового термоклея; 6 - дозатор сорбента; 7 - ИК нагреватели для доведения термоклея до температуры плавления и фиксации частиц сорбента на ткани; 8 - верхний металлический вал, нагреваемый электропарогенератором; 9 - средний обрезиненный вал; 10 - вал водяного охлаждения во избежание перегрева обрезиненного вала; 11 - раскаточный вал прокладочной бумаги, для предотвращения осыпания гранул сорбента; 12 - намоточный вал прокладочной бумаги; 13 - накатное устройство сорбционного полотна.

Участок III – непрерывная точечная ультразвуковая сварка: 14 - раскат полотна с участка каландрирования; 15 - раскат мембраны; 16 - УЗ генератор; 17 - пьезоэлектрический преобразователь электроэнергии генератора в механические УЗ колебания; 18 - бустер, корректирующий амплитуду колебаний; 19 - ролик-сонотрод для точечного сварного шва; 20 - опорный вал; 21 - накатное устройство пакета материалов.

Участок IV – раскрой, контроль качества и упаковка: 22 - раскройное оборудование: роспуск рулона на полотна заданной ширины и длины под последующий пошив защитной одежды; 23 - пост контроля качества: проверка сплошности мембранного слоя, равномерности распределения сорбента и целостности точечных сварных соединений; 24 - упаковка и маркировка готовой продукции.

Функциональные характеристики каландра S4 560×1530: скорость движения ткани 7,0–35,0 м/мин; длина вала каландра 1530,0 мм; ширина изделия 1250,0 мм; мощность валков 7,5 кВт; нагрев вала – электропарогенератор; максимальная температура сушильных плит 150,0°С; габаритные размеры (Д×Ш×В) не более 8300×3500×4250 мм. Технические характеристики узла УЗ сварки серии «Волна»: тип установки - рулонная, непрерывной точечной УЗ сварки; рабочая частота 20–35 кГц; ширина обрабатываемого полотна до 1600 мм; скорость сварки до 50 м/мин; установленная мощность не более 6,0 кВт; тип рабочего инструмента - ролик-сонотрод (роторный); регулируемая плотность точек скрепления 2,5-4,0 %; электропитание - 380 В, 50 Гц.

Согласно таблице 7 пакет «Саржа»-«Каусорб»-«Прорелле П600» демонстрирует наибольшее ВЗД к газо-воздушной смести нефтепродуктов, а пакет «Саржа»-«ФАС»-«МТ-1» к аммиаку, относительно других материалов. При сравнении разработанных пакетов с наиболее близким по строению ХЗМ «ММС-Т» в связи с наличием в нем мембраны установлено:

- Пакет «Саржа – Каусорб – Порелле» по ВЗД от газовоздушной смеси нефтепродуктов (9,21 раз), по разрывной нагрузке по основе (66,0%), по разрывной нагрузке по утку (53,4%), по относительному удлинению по утку (33,1%), по раздирающей нагрузке по утку (12,7%), по удельной поверхности в 5,95 раза, по объему пор в 3,67 раза и по паропроницаемости на 20,7 %.

- Пакет «Саржа – ФАС – МТ-1» по времени защитного действия от газовоздушной смеси аммиака в 12,30 раза, по разрывной нагрузке по основе на 68,0%, по разрывной нагрузке по утку на 61,8%, по относительному удлинению по утку на 41,9%, по раздирающей нагрузке по утку на 10,1%, по удельной поверхности в 7,85 раза и по объему пор в 7,19 раза.

Таблица 7 – Сводная характеристика разработанных пакетов и ХЗМ

Показатель	Разработанные пакеты		Промышленно-производимые ХЗМ				
	Саржа–Каусорб–Порелле	Саржа–ФАС–МТ-1	ММС-Т	Митрон	ХЗМ 8318	Биоформ	Форм
Поверхностная плотность, г/м²	520	504	350	370	400	280	230
Разрывная нагрузка по основе, Н	603,05	610,19	363,20	1210,81	664,01	527,20	560,10
Разрывная нагрузка по утку, Н	531,22	560,11	346,20	493,92	470,13	430,15	395,98
Прочность по основе, МПа	4,31	2,60	7,04	28,16	14,70	22,43	28,00
Прочность по утку, МПа	3,04	3,07	6,07	11,49	10,93	18,30	19,80
Относительное удлинение по основе, %	16,15	21,52	31,51	25,59	16,53	23,64	25,78
Относительное удлинение по утку, %	18,82	20,07	14,14	15,86	13,78	11,77	14,68
Раздирающая нагрузка по основе, Н	32,11	32,57	47,73	50,60	54,21	38,85	54,71
Раздирающая нагрузка по утку, Н	27,35	26,70	24,26	55,05	72,39	69,47	73,66
Удельная поверхность, м²/г	397,98	525,75	66,94	17,09	25,43	72,60	42,60
Объем пор, см³/г	0,2277	0,4464	0,0621	0,0277	0,0326	0,0971	0,0688
Размер пор, нм	3,74	3,71	3,71	6,49	5,13	5,35	6,46
Паропроницаемость, г/(м²·ч)	26,15	12,39	21,67	49,00	27,33	27,33	34,33
ВЗД (аммиак), мин	17,67	47,17	3,83	15,33	5,00	3,67	3,33
ВЗД (нефть), мин	600	–	65,17	13,33	9,33	10,67	11,50

Проведен комплексный расчёт экономической эффективности внедрения разработанной технологии на базе АО «КазХимНИИ», включающий оценку затрат, прибыли и рентабельности производства пакета материалов с сорбирующим и мембранным слоями на примере пакета «ткань «Саржа» – уголь «Каусорб» – мембрана «Порелле П600». Согласно произведенным вычислениям, годовая чистая прибыль составит 14759078 руб. при рентабельности производства 15%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. По результатам теоретического анализа современного ассортимента химзащитных материалов, их состава и свойств и обосновано применение трёхслойной структуры пакета, включающей натуральный текстильный материал,

угольный сорбционный слой и беспоровую гидрофильную ПУ мембрану. Такое сочетание обеспечивает совмещение несущей, сорбционной и барьерной функций при сохранении пароперенoса.

2. Предложена и апробирована методика таксонометрической оптимизации для многокритериального ранжирования марок материалов для слоев пакета. По совокупности эксплуатационных свойств: в качестве текстильного слоя обоснован выбор ткани «Саржа»; среди сорбентов приоритетными являются угли «ФАС», для технологичности формирования пакета также выделен «Каусорб»; среди мембран лидируют «Порелле П600» и «МТ-1».

3. Экспериментально установлены составы пакетов целевого назначения: «Саржа - Каусорб - Порелле П600» для защиты от газовоздушной смеси нефтепродуктов и «Саржа - ФАС - МТ-1» для защиты от аммиака. Первый пакет обеспечивает время защитного действия по газовоздушной смеси нефти 10 ч, второй – время защитного действия по аммиаку 47,17 мин.

4. Установлен механизм защитного действия пакетов материалов от воздействия аммиака и нефтепродуктов, зависящий от природы воздействующего вещества, состава и структуры мембранно-сорбционного слоя. Для неполярных углеводородов нефтепродуктов определяющими являются барьерная функция плотной беспоровой мембраны и физическая адсорбция в углеродном сорбенте; для аммиака ведущую роль играют донорно-акцепторные и водородно-связанные взаимодействия с полярными группами ПУ мембраны и сорбционное удержание на углеродной поверхности.

5. Разработана технологическая схема получения пакетов материалов в опытно-промышленных условиях. Технологический процесс включает участки: каландрирования для формирования сорбционного слоя на текстильной основе с применением термоклея; точечной УЗ-сварки для последующего соединения пакета с мембраной. Ожидаемый годовой экономический эффект от внедрения разработанной технологии 14759078 руб., рентабельность производства 15%.

6. Получены опытные образцы пакетов материалов с улучшенными эксплуатационными, в том числе защитными, свойствами. Установлены преимущества разработанных пакетов над промышленными аналогами:

- Пакет «Саржа – Каусорб – Порелле» имеет поверхностную плотность 520 г/м², удельную поверхность 397,98 м²/г, объем пор 0,2277 см³/г, размер пор 3,74 нм и паропроницаемость 26,15 г/(м²·ч). По сравнению с ММС-Т он демонстрирует преимущества по ВЗД от газовоздушной смеси нефти в 9,21 раза, по разрывной нагрузке по основе на 66,0%, по разрывной нагрузке по утку на 53,4%, по относительному удлинению по утку на 33,1%, по раздирающей нагрузке по утку на 12,7%, по удельной поверхности в 5,95 раза, по объему пор в 3,67 раза и по паропроницаемости на 20,7%.

- Пакет «Саржа – ФАС – МТ-1» имеет поверхностную плотность 504 г/м², удельную поверхность 525,75 м²/г, объем пор 0,4464 см³/г, размер пор 3,71 нм и паропроницаемость 12,39 г/(м²·ч). Он превосходит промышленный аналог ММС-Т по времени защитного действия от газовоздушной смеси аммиака в 12,30 раза, разрывной нагрузке по основе на 68,0%, разрывной нагрузке по утку

на 61,8 %, относительному удлинению по утку на 41,9%, раздирающей нагрузке по утку на 10,1 %, удельной поверхности в 7,85 раза и объему пор в 7,19 раза.

Результаты исследований, полученные в ходе выполнения данной работы, могут быть применены в дальнейшем при создании новых мембранно-сорбционных текстильных материалов и технологий их получения для производства защитной одежды фильтрующего типа, устойчивой к воздействию вредных веществ.

Основные результаты работы изложены в следующих публикациях:

Статьи, опубликованные в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК РФ:

1. **Гарафиев, А. Р.** Сравнительный анализ разрывных характеристик текстильных основ для пакетов материалов фильтрующего типа и промышленных аналогов / **А. Р. Гарафиев**, Н. В. Тихонова, В. Ю. Матвеева // Костюмология. – 2026. – Т 11. – №1. – URL: https://kostumologiya.ru/PDF/13TLKL126.pdf.

2. **Гарафиев, А. Р.** Устойчивость к раздиру текстильных основ для спецодежды и промышленных аналогов / **А. Р. Гарафиев**, Н. В. Тихонова, К. Д. Даловский // Костюмология. – 2026. – Т 11. – №2. – URL: https://kostumologiya.ru/PDF/21TLKL226.pdf.

3. **Гарафиев, А. Р.** Характеристики пористости и удельной поверхности текстильных основ для защитной одежды фильтрующего типа / **А. Р. Гарафиев**, Н. В. Тихонова // Технологии и качество. – 2026. – № 3(73). – С. 31-36. – DOI 10.34216/2587-6147-2026-3-73-31-36.

4. **Гарафиев, А. Р.** Защитные свойства материалов специальной одежды от воздействия токсичных веществ и нефтепродуктов / **А. Р. Гарафиев,** Н. В. Тихонова, В. Ю. Матвеева // Вестник технологического университета. – 2026. – Т. 29. – № 8. – С. 106-113.

Статьи в сборниках научных трудов и материалов конференций:

5. **Гарафиев, А. Р.** Материалы для защитной одежды при возгораниях на предприятиях химического комплекса / **А. Р. Гарафиев**, Н. В. Тихонова // Современные пожаробезопасные материалы и технологии : Сборник материалов VII международной научно-практической конференции, Иваново, 17 октября 2024 года. – Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы МЧС РФ, 2024. – С. 63-67.

6. **Гарафиев, А. Р**. Текстильные материалы с защитными свойствами от воздействия токсичных веществ / **А. Р. Гарафиев**, Н. В. Тихонова // Легкая промышленность: проблемы и перспективы : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Омск, 27–28 ноября 2024 года. – Омск: Омский государственный технический университет, 2024. – С. 81-87.

7. **Гарафиев, А. Р**. Перспективы применения угольных сорбентов в составе материалов защитной одежды / **А. Р. Гарафиев**, Н. В. Тихонова // Современные методы получения материалов, обработки поверхности и нанесения покрытий (Материаловедение-2025) : Материалы III Всероссийской конференции с международным участием, Казань, 27–28 марта 2025 года. – Казань: Казанский на-

циональный исследовательский технологический университет, 2025. – С. 125-128.

8. **Гарафиев, А. Р.** Результаты оценки пористой структуры угольных сорбентов для создания пакета материалов защитной одежды / **А. Р. Гарафиев,** Н. В. Тихонова // Исследования ВКР - в практику профессиональной жизни : Сборник материалов VI Международной научно-практической межвузовской конференции, Москва - Бухара, 21 ноября 2025 года. – Москва: Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), 2026. – С. 43-46.

9. **Гарафиев, А. Р.** Виды и свойства мембранного слоя в пакетах материалов фильтрующего типа для спецодежды / **А. Р. Гарафиев** // Научные исследования и разработки в области дизайна и технологи : Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Кострома, 25–27 марта 2026 года. – Кострома: Костромской государственный университет, 2026. – С. 390-393.

10. **Гарафиев, А. Р.** Прочностные свойства мембранного слоя пакета материалов защитной одежды / **А. Р. Гарафиев,** Н. В. Тихонова // IV Всероссийской конференции с международным участием «Современные методы получения материалов, обработки поверхности и нанесения покрытий» 26 - 27 марта 2026. Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2026. – С. 125-128.

11. **Гарафиев, А. Р.** Результаты оценки прочности частиц сорбирующего слоя в пакете материалов для спецодежды / **А. Р. Гарафиев**, Н. В. Тихонова // Новации в процессах проектирования и производства изделий легкой промышленности : материалы IV Всероссийской конференции ученых, аспирантов и студентов с международным участием (Казань, 21–24 апреля 2026 г.); Минобрнауки России; Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань : Изд-во КНИТУ , 2026. - С. 171-177.

12. **Гарафиев, А. Р.** Поровые характеристики мембран для пакета материалов с защитными свойствами **/ А. Р. Гарафиев,** Н. В. Тихонова // Новые технологии и материалы легкой промышленности : материалы XXII Всероссийской научно-практической конференции для студентов и молодых ученых с международным участием (Казань, 14–15 мая 2026 г.); Минобрнауки России; Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань : Изд-во КНИТУ, 2026. – С. 150-156.

Заказ Тираж 100 экз.

Офсетная лаборатория КНИТУ 420015 г. Казань, ул. К. Маркса, 68