

На правах рукописи



Ясинская Наталья Николаевна

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
ФОРМИРОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ
МАТЕРИАЛОВ**

Специальность 05.19.02

Технология и первичная обработка текстильных материалов и сырья

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Витебск – Москва, 2019

Работа выполнена в Учреждении образования «Витебский государственный технологический университет» (УО «ВГТУ»), Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)» (ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина»)

Научный консультант:

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Технология текстильных материалов» УО «Витебский государственный технологический университет»

Коган Александр Григорьевич

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор, директор института текстиля и моды ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна», заведующий кафедрой технологии и проектирования текстильных изделий

Иванов Олег Михайлович

доктор технических наук, ведущий научный сотрудник НОЦ «Центр компетенций текстильной и легкой промышленности» ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет»

Толубеева Галина Ивановна

доктор технических наук, заведующий кафедрой теории механизмов и машин, деталей машин и проектирования технологических машин ФГБОУ ВО «Костромской государственный университет»

Корабельников Андрей Ростиславович

Ведущая организация:

ОАО «Инновационный научно-производственный центр текстильной и легкой промышленности» (г. Москва).

Защита состоится 06 марта 2020 г. в 10:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.144.06 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)» (ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина») по адресу: 117997, Москва, ул. Садовническая, д. 33, стр. 1

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина» и на сайте университета <http://kosygin-rgu.ru/>

Автореферат разослан «__» _____ 2020 г.

Ученый секретарь диссертационного совета



Е.А. Кирсанова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Работа посвящена разработке новых технологий формирования комбинированных текстильных материалов, принадлежащих к техническому текстилю. Во всем мире технический текстиль является наиболее динамично развивающейся подотраслью текстильной промышленности. Необходимо отметить, что в странах СНГ производителей технического текстиля практически нет, хотя в последние десятилетия отечественные текстильные предприятия активно расширяют ассортимент технического текстиля для критических областей: военная, атомная энергетика, ракетно-, авиастроение, транспорт, а также другие. В тоже время для производства технического текстиля для дома - интерьерных и облицовочных материалов, например, текстильных настенных и напольных покрытий, для галантерейных и обувных изделий, специальной одежды используются дорогостоящие материалы зарубежных производителей.

В соответствии со Стратегией развития легкой промышленности в Российской Федерации на период до 2025 года, а также Программой развития легкой промышленности в Республике Беларусь до 2020 года производство технического текстиля является одним из приоритетных инновационных направлений. Важнейшими задачами науки и производства являются создание высокоэффективных технологий, направленных на расширение ассортимента технического текстиля, повышение его качества и снижение стоимости за счет использования отечественных сырьевых ресурсов, в том числе вторичных ресурсов, межотраслевого кооперирования предприятий, что подтверждает актуальность данной проблемы.

Одним из перспективных решений является разработка технологий получения многофункциональных комбинированных текстильных материалов, формируемых на базе текстильных технологий из отечественного сырья, в том числе вторичных ресурсов, на существующем технологическом оборудовании без дополнительных капитальных вложений. Простыми и универсальными способами формирования комбинированных материалов являются пропитка текстильного полотна различными композициями полимерных связующих и клеевой для соединения разнородных компонентов. Основными этапами технологии производства являются пропитка, сушка и термообработка, эффективность протекания которых зависит от вида и структуры текстильного компонента, свойств полимерного связующего и технологических параметров. Каждый из этапов важен и теоретическое обоснование формирования комбинированных текстильных материалов на всех этапах производства является актуальной научной проблемой, комплексное решение которой, начиная от проектирования структуры до конечного продукта – комбинированного текстильного материала, позволит создать инновационные технологии и современный ассортимент технического текстиля, имеющего большое значение для развития промышленного потенциала страны, осуществить импортозамещение при производстве некоторых видов изделий.

Отличительными особенностями диссертации являются: разработка новых технических решений и инновационных технологий производства с использованием низкосортного льняного волокна, коротковолокнистых отходов производства искусственного меха для выпуска нового ассортимента комбинированных текстильных материалов; удешевление производимой продукции за счет использования имеюще-

гося парка оборудования текстильного отделочного производства и нетрадиционных способов тепловой обработки; построение эффективной производственной цепочки, объединяющей предприятия различных отраслей.

Для решения поставленных задач в работе использованы достижения ученых Ломова С.В., Кербера М.Л., Когана А.Г., Киселева А.М., Трещалина Ю.М., Панина А.И. и др., работающих в области технического текстиля и композиционных материалов.

Степень разработанности темы. Данная работа является частью исследований, проведенных в УО «ВГТУ» в период 2003 – 2017 годы под руководством д.т.н., профессора А.Г. Когана, в том числе в рамках заданий ГПНИ «Тепловые процессы» и «Энергоэффективные технологии и техника» (ИТМО им. А.В. Лыкова НАН РБ) по темам: «Разработка технологии аэродинамического нанесения волокнистого материала и исследование процесса сушки при формировании многослойного полотна» (№ ГР 20062710, 2006–2010 гг.), «Энергоэффективные технологии отделочного производства в текстильной промышленности» (№ ГР 20113534, 2011–2013 гг.), «Интенсификация процессов химической отделки текстильных материалов с использованием электромагнитного излучения инфракрасного и СВЧ-диапазона» (№ ГР 20140990, 2014–2015 гг.), «Отделка и сушка материалов изделий легкой и текстильной промышленности с использованием ультразвукового излучения» (№ ГР 20163062, 2016–2017 гг.); задания ГППИ «Полимерные материалы и технологии» ИММС им. В.А. Белого НАН РБ по теме № 1-33 «Разработка технологии получения композиционных материалов с использованием химических волокон и отходов текстильного производства» (№ ГР 20062709, 2006–2010 гг.); задания ОНТП «Текстильные и трикотажные технологии» по теме: «Разработать технологические процессы и освоить производство новых видов многослойных текстильных материалов бытового и технического назначения» (№ ГР 2007996, 2007–2008 гг.); заданий ОНТП «Инновационные технологии в легкой промышленности» по теме «Разработать технологию производства технических материалов специального назначения» (№ ГР 20121728, 2012–2013 гг.), «Разработка и внедрение технологического процесса производства геокомпозитных текстильных материалов» (№ ГР 20141406, 2014–2015 гг.); заданий концерна «Беллегпром» по темам: «Разработать и исследовать технологический процесс получения текстильных настенных покрытий» (№ ГР 2003262, 2003–2004 гг.), «Разработать и исследовать новые технологические процессы получения комбинированных нитей для производства ламинированных материалов и технических тканей» (№ ГР 20043302, 2004–2005 гг.), «Провести маркетинговые исследования в области потребности рынка и организаций-изготовителей новых видов многослойных материалов с использованием отходов текстильного производства» (№ ГР 20062389, 2006 г.), «Освоить и внедрить в производство технологические процессы получения ламинированных текстильных материалов» (№ ГР 20062381, 2006 г.), «Разработать и исследовать технологию получения новых видов текстильных материалов со специальными видами заключительной отделки» (№ ГР 20101392, 2010–2011 гг.).

Целью работы является разработка теоретических и технологических основ формирования комбинированных текстильных материалов, создание нового ассортимента технического текстиля с улучшенными потребительскими и эксплуатационными свойствами при одновременном снижении стоимости за счет уменьшения энергетических и материальных затрат при производстве.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие научно-исследовательские и практические **задачи**:

- обосновать выбор текстильных материалов и способов формирования новых комбинированных структур, принадлежащих к техническому текстилю, с учетом обеспечения снижения энергетических и материальных затрат;
- осуществить выбор показателей качества новых комбинированных текстильных материалов, позволяющих оптимизировать технологические параметры процесса формирования и определять их потребительские и эксплуатационные свойства, выявить факторы, определяющие эффективность технологических операций формирования;
- установить взаимосвязь капиллярно-пористой структуры текстильного материала с составом и комплексом свойств нитей, параметрами строения тканей, позволяющую прогнозировать способностью пропитываться полимерными связующими, рассчитывать кинетику пропитки и сушки при формировании комбинированных текстильных материалов;
- исследовать механизм и закономерности пропитки, сушки и термообработки при формировании комбинированных текстильных материалов, разработать методы проектирования оптимальных технологических параметров, прогнозирования и оценки показателей их качества;
- разработать новые технические решения и технологии производства комбинированных текстильных материалов, ориентированные на использование вторичного и низкосортного сырья, существующего оборудования, на сокращение энергоемкости производства, расширение ассортимента технического текстиля с заданными свойствами, обеспечивающими многофункциональность применения;
- провести широкую промышленную апробацию новых комбинированных текстильных материалов, определить основные направления использования и обеспечить импортозамещение при производстве товаров народного потребления.

Научная новизна работы заключается в разработке научных положений в области технологии комбинированных текстильных материалов, создании теоретических и экспериментальных методов, позволяющих проектировать структуру и управлять основными технологическими параметрами на всех этапах производства, прогнозировать и оценивать качественные показатели материалов. При этом *впервые* получены следующие научные результаты.

Обоснован выбор показателей качества новых комбинированных текстильных материалов, позволяющих оптимизировать технологические параметры процесса формирования и определять их потребительские и эксплуатационные свойства.

Предложен упрощенный метод описания одномерных и двухмерных текстильных материалов, учитывающий их капиллярно-пористую структуру, комплекс свойств нитей и параметры строения тканей, позволяющий оценить изменение пористости волокнистого материала в зависимости от состава, структуры и свойств, а также прогнозировать их способность пропитываться полимерным связующим. Разработана новая экспериментальная методика, позволяющая повысить точность определения пористости волокнистых материалов.

Сформулированы теоретические представления о кинетике пропитки тканей разреженных и уплотненных структур водными дисперсиями и растворами полимерных связующих различного состава. Выявленные различия в механизме пропит-

ки позволили получить кинетические модели, учитывающие структуру и геометрические характеристики текстильных материалов, а также физико-химические свойства полимерного связующего.

Разработаны методы проектирования оптимальных технологических параметров процесса формирования комбинированных текстильных материалов способом пропитки и клеевым, позволяющие управлять полнотой пропитки и прочностью адгезионного соединения.

Предложено новое техническое решение для формирования ворсового покрытия потоком сжатого воздуха на различных поверхностях, алгоритм проектирования конструктивных параметров аэродинамического устройства и оптимальных режимов формирования комбинированного текстильного материала с ворсовым покрытием.

Экспериментально установлены зависимости физико-механических и функциональных свойств комбинированных текстильных материалов от технологических режимов формирования и составов полимерных связующих, позволяющие обеспечить высокие показатели качества готовых изделий.

Установлены закономерности кинетики сушки и термообработки комбинированных текстильных материалов, состоящих из разнородных компонентов и пропитанных полимерными композициями различного состава. Выявлены отклонения от классической теории сушки капиллярно-пористых тел, которые позволили предложить уточненные методики расчета общей продолжительности сушки и термофиксации, учитывающие структуру, геометрические и тепловые свойства комбинированного текстильного материала, а также состав полимерного связующего.

Доказано интенсифицирующее действие и получены кинетические модели пропитки, сушки и термообработки в условиях сверхвысокочастотного излучения, что позволило предложить новые схемы построения энергоэффективных технологий формирования комбинированных текстильных материалов с улучшенными свойствами. Установлено влияние параметров сверхвысокочастотной обработки на физико-механические и функциональные свойства материалов, создана аналитическая модель для расчета оптимальной комбинации режимных параметров сверхвысокочастотной обработки, показана возможность совмещения процессов сушки и термофиксации.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретические выводы и положения диссертации позволили обосновать технологические принципы получения инновационных комбинированных текстильных материалов, принадлежащих к техническому текстилю. Практическая значимость результатов заключается в том, что:

- разработанные и экспериментально подтвержденные модели капиллярно-пористой структуры пряжи, нити и ткани позволят обоснованно выбирать режимные параметры в технологиях жидкостных обработок волокнистых материалов;
- разработанные методы расчета кинетики пропитки, сушки и термообработки позволят определять рациональные режимы заключительной отделки текстильных материалов и формирования комбинированных структур с учетом различия, состава текстильного компонента и полимерной композиции, их геометрических и теплофизических свойств, позволят управлять технологическими параметрами непрерывного процесса формирования готового материала;

- предложенная конструкция аэродинамического устройства позволит формировать ворсовое покрытие потоком сжатого воздуха на различных основах; разработан, изготовлен и прошел производственную апробацию промышленный образец устройства, подтверждена возможность легкого его встраивания в поточную линию;
- впервые разработана технология формирования комбинированного материала с тканым покрытием клеевым способом на существующей технологической линии для нового ассортимента технического текстиля отделочного назначения – текстильных настенных покрытий;
- разработана сокращенная технология формирования комбинированных текстильных материалов с заданными свойствами непрерывным способом «с ткацкого станка на пропитку», позволяющая формировать комплекс функциональных свойств в процессе однократной пропитки; рекомендованы рецептуры полимерных композиций для придания специальных свойств, позволяющие значительно расширить ассортимент технического текстиля;
- разработана энергоэффективная технология формирования комбинированных текстильных материалов с использованием СВЧ-обработки, что позволит интенсифицировать операции пропитки, сушки и термофиксации, а также улучшить качество готового материала;
- разработанные новые комбинированные текстильные материалы позволили расширить ассортимент отечественного технического текстиля и заменить импортные материалы при производстве товаров народного потребления, разработаны технические условия на новые виды комбинированных текстильных материалов и выпущены опытные и промышленные партии.

Разработанные инновационные технологии и материалы внедрены в производство на предприятиях холдинга «Белорусские обои» («Минская обойная фабрика» г. Минск, «Гомельская обойная фабрика», г. Гомель), РУПТП «Оршанский льнокомбинат» (г. Орша), ОАО «Витебский комбинат шелковых тканей» (г. Витебск)

Новизна технологий, технологических решений и ассортимента комбинированных текстильных материалов защищена восемью патентами Республики Беларусь.

Положения, выносимые на защиту:

- инновационные технические решения и технологии производства комбинированных текстильных материалов, принадлежащих к техническому текстилю, формируемых клеевым способом из разнородных слоев и способом пропитки тканей водными дисперсиями полимерных связующих различного состава;
- алгоритм моделирования капиллярно-пористой структуры текстильных нитей и тканей, позволяющий оценить изменение пористости волокнистого материала в зависимости от его состава, структуры и свойств, а также прогнозировать способность пропитываться полимерным связующим;
- результаты теоретических и экспериментальных исследований кинетики пропитки, сушки и термообработки при формировании комбинированных текстильных материалов с учетом их сырьевого состава, структуры, геометрических и тепловых свойств компонентов, а также состава полимерного связующего;
- методы проектирования оптимальных технологических параметров процесса формирования комбинированных текстильных материалов способом пропитки и клее-

вым, позволяющие управлять полнотой пропитки и прочностью адгезионного соединения;

- экспериментальные зависимости физико-механических и функциональных свойств комбинированных текстильных материалов от технологических режимов формирования и составов полимерных связующих;
- теоретическое и экспериментальное обоснование целесообразности интенсификации процессов пропитки, сушки и термообработки воздействием сверхвысококачественного излучения при формировании комбинированных текстильных материалов;
- новый ассортимент комбинированных текстильных материалов, номенклатуру показателей их качества и направления использования.

Личный вклад соискателя ученой степени состоит в выборе направления и методов исследования, постановке и решении задач диссертационной работы, получении, научном анализе и интерпретации результатов эксперимента. Теоретические и экспериментальные исследования, разработка оригинальных методик, создание лабораторных стендов и устройств для формирования комбинированных текстильных материалов выполнены автором лично или под его руководством. Диссертант принимала непосредственное участие в опытно-промышленной проверке технологических режимов, внедрении разработанных технологий на предприятиях текстильной и легкой промышленности Республики Беларусь. Результаты диссертационной работы отражают самостоятельные исследования автора и его работы, выполненные в соавторстве.

Основными соавторами по опубликованным работам являются д.т.н., профессор Коган А. Г. – научный консультант по диссертационной работе, к.т.н., профессор Ольшевский В. И., к.т.н. Чукасова-Ильюшкина Е. В. – с которыми выполнены совместные исследования по взаимодействию коротковолокнистых частиц с потоком сжатого воздуха при формировании ворсового покрытия, разработке конструкции аэродинамического устройства, к.т.н. Калиновская И. Н., к.т.н. Мурычева В. В. – с которыми выполнены исследования формирования комбинированных текстильных материалов, к.т.н. Жерносек С. В., Бизюк А. Н. – с которыми проводилось моделирование капиллярно-пористой структуры текстильных материалов и исследование процессов пропитки и сушки в условиях сверхвысококачественной обработки.

Степень достоверности результатов. Исследование проведено с использованием современных методов выполнения эксперимента, математической обработкой полученных результатов и обширного статистического материала. Достоверность подтверждена взаимной согласованностью результатов, полученных в ходе теоретических и экспериментальных исследований, а также результатами производственных испытаний и внедрения созданных технологий формирования комбинированных текстильных материалов.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались, обсуждались и получили положительную оценку на всероссийских научно-технических конференциях «Современные технологии и оборудование текстильной промышленности» (Текстиль) (Москва, 2003, 2004, 2005, 2006, 2010, 2011); всероссийских научно-технических конференциях «Актуальные проблемы проектирования и технологии изготовления текстильных материалов специального назначения» (Техтекстиль), (Дмитровград, 2005, 2007, 2010); международных научно-технических конференциях «Современные наукоемкие технологии и перспективные

материалы в текстильной и легкой промышленности» (Прогресс), (Иваново, 2006, 2008, 2012, 2013); международных научно-технических конференциях «Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности» (Инновации), (Москва, 2013, 2014, 2018); всероссийских научно-технических конференциях аспирантов и студентов «Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности» (Поиск), (Иваново, 2009, 2010, 2011, 2012, 2019); международных научно-инновационных конференциях аспирантов, студентов и молодых ученых с элементами научной школы «Теоретические знания – в практические дела» (Омск, 2006, 2011); на научно-технических конференциях преподавателей и студентов ВГТУ, 2003–2017 гг.; международной научно-технической конференции «Экологические и ресурсосберегающие технологии промышленного производства», (Витебск, 2006); второй и третьей Белорусской научно-практической конференции «Научно-технические проблемы развития производства химических волокон в Беларуси» (Могилев, 2002, 2006); международных научных конференциях «Новое в технике и технологии текстильной и легкой промышленности» (Витебск, 2009, 2011, 2013, 2015); научно-практическом семинаре «Волокна и волокнистые материалы специального назначения. Исследования и разработки» (Минск, 2015 г.).

Опубликование результатов диссертации. Основные теоретические и практические результаты диссертации опубликованы в 109 научных публикациях, в том числе отдельные главы 2-х монографий, 38 статей в изданиях, рекомендованных ВАК Республики Беларусь (из них 23 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК Российской Федерации), 37 статей в сборниках материалов и трудах научных конференций, 24 тезисов докладов, 8 патентов на изобретение Республики Беларусь.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертационная работа состоит из введения, основной части, включающей 7 глав, заключения, библиографического списка, включающего 231 источник, а также 109 публикаций автора, приложения. Диссертация изложена на 385 страницах машинописного текста, содержит 156 рисунка, 84 таблицы. 13 приложений представлены на 86 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, определены основные цель и задачи исследования. Дана оценка современному состоянию проблемы получения технического текстиля. Отмечена перспективность разработки способов производства комбинированных текстильных материалов, формируемых на базе текстильных технологий, из отечественного сырья на существующем технологическом оборудовании, без дополнительных капитальных вложений.

В первой главе, основываясь на научных публикациях и патентных материалах, проведен аналитический обзор комбинированных текстильных материалов, способов их формирования и областей использования.

В связи с отсутствием единой терминологии в работе принято под *комбинированным текстильным материалом* понимать материал, состоящий из двух и более разнородных компонентов, сформированный на базе текстильных технологий в монолитную структуру, физико-механические свойства которого отличаются от свойств составляющих компонентов. Характерным признаком комбинированного текстильного материала является то, что при значительной толщине и жесткости

композиционного он сохраняет гибкость и эластичность текстильного, возможность формирования рулонных материалов.

На основании известных, разработана новая обобщенная классификация комбинированных текстильных материалов, учитывающая многообразие признаков, охватывающая их широкий ассортимент. В отдельную группу технического текстиля выделены материалы декоративно-отделочного назначения. Центральным, определяющим признаком классификации является структура комбинированного текстильного материала.

Рассмотрены вопросы, связанные с сырьевым составом, структурой и свойствами текстильных компонентов, используемых при формировании комбинированных материалов. Установлено, что в качестве декоративного покрытия наибольший интерес представляют ворс или тканые полотна. Показана экологическая и экономическая целесообразность использования коротковолокнистых отходов текстильного производства в качестве ворсового покрытия. С учетом отечественной сырьевой базы тканые полотна актуально вырабатывать с использованием пряжи из короткого льняного волокна, а также химических нитей большой линейной плотности.

С учетом вида, назначения и способов формирования комбинированного текстильного материала сформулированы требования к полимерным связующим. Показано преимущество использования низковязких, экологически чистых при производстве и эксплуатации готовых изделий водных растворов и дисперсий термопластичных полимеров. Введение специальных добавок в полимерные композиции позволит придавать готовым материалам комплекс заданных свойств: грязе-, водоотталкивание, огне-, термостойкость, бактерицидность и др.

Рассмотрены существующие способы формирования комбинированных текстильных материалов, выявлены их достоинства и недостатки. Установлено, что для формирования каркасных материалов наибольший интерес представляет способ пропитки текстильного полотна полимерным связующим, для слоистых структур – клеевой способ соединения разнородных компонентов. Основными операциями в технологии формирования комбинированного текстильного материала, эффективность проведения которых влияет на качество готового продукта, являются *пропитка, сушка и термофиксация*.

Проанализированы работы, связанные с направлениями интенсификации основных операций формирования комбинированного материала с целью ускорения физико-химических процессов, а также сохранения и улучшения свойств текстильных материалов, снижения энергозатрат и экологической вредности производства. Универсальным способом, позволяющим обрабатывать материалы любой толщины и сырьевого состава без ухудшения свойств, а также встраиваться в существующие текстильные технологии, является нагрев в поле токов сверхвысокой частоты.

На основании критического анализа информации, имеющейся в научно-технической литературе по рассматриваемому вопросу, сформулированы цель и задачи диссертационной работы, определены основные направления теоретических и экспериментальных исследований.

Во второй главе предложены уточняющие термины, характеризующие структуру и способ формирования комбинированных текстильных материалов, исследуемых в данной работе. «*Слоистый материал с тканым покрытием*» использовать для материалов, полученных клеевым способом соединения тканого полотна с по-

лотном нетканой основы; «слоистый материал с ворсовым покрытием» использовать для материала, полученного при нанесении коротковолокнистых частиц на поверхность с пленкой полимерного связующего с последующей их прочной фиксацией; «каркасный текстильный материал» использовать для материалов, полученных способом пропитки тканого полотна полимерным связующим.

С применением метода ранжирования установлена номенклатура показателей качества комбинированных текстильных материалов галантерейного, обувного назначения, а также используемых в качестве настенных покрытий – обивочных и облицовочных. Для каждого показателя определены ГОСТы, в соответствии с которыми осуществляется измерение их значения. К наиболее важным показателям, определяющим технологичность, относятся жесткость; эксплуатационные свойства – прочность связи между слоями, устойчивость к истиранию, поверхностная плотность; функциональные – водопроницаемость, пылеемкость, стойкость к загрязнениям, горючесть. Установленный перечень значимых показателей качества позволил разработать и утвердить технические условия на новые материалы.

На основании анализа основных физико-химических явлений, сопровождающих процессы формирования, произведена систематизация факторов, влияющих на эффективность пропитки и сушки, а также качественные показатели комбинированных текстильных материалов.

Третья глава посвящена моделированию капиллярно-пористой структуры текстильных материалов и основных физико-химических явлений при формировании комбинированных структур. Рассмотрены вопросы, связанные с прогнозированием технологических режимов формирования и качественных показателей комбинированных текстильных материалов.

Пористость является важнейшим свойством текстильного компонента, определяющим скорость и полноту протекания операций пропитки и сушки при формировании, что определяет качество готового материала.

На первом этапе исследований разработана имитационная модель капиллярно-пористой структуры текстильной нити, которая позволяет учесть изменение объемной плотности в зависимости от линейной плотности и степени скрученности, неровноту распределения волокон по их диаметру, а также неравномерную уплотненность волокнистого материала по сечению текстильной нити. Моделирование пористой структуры волокнистого материала выполнено на классическом примере – пряжи кольцевого способа прядения с заданной линейной плотностью, круткой. В пряже волокна располагаются по винтовым линиям переменного шага и радиуса (рис. 1).

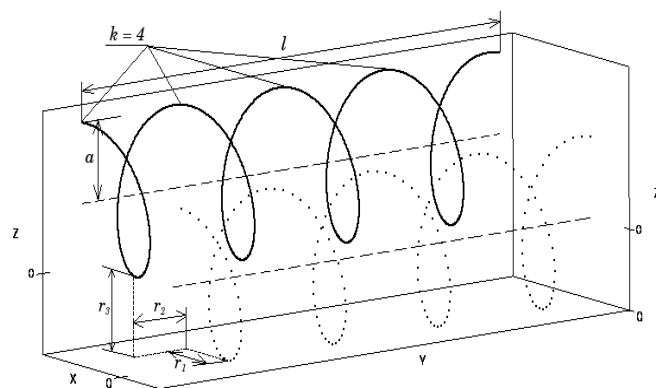


Рисунок 1 – Модель волокна

Каждое волокно по своей длине лежит не в одном слое пряжи, а в ряде слоев, переходя от центра пряжи к периферии и обратно, и описывается набором из конечного числа точек в пространстве. Расположение точек каждого волокна в пространстве задается параметрическим уравнением винтовой линии (1).

$$\left\{ \begin{array}{l} t = \frac{t_1}{\sqrt{a^2 + b^2}} \\ y = b \cdot t \\ x = a \cdot \sin\left(\frac{t_1}{\sqrt{a^2 + b^2}}\right) + \frac{b}{a} \cdot \cos\left(\frac{t_1}{\sqrt{a^2 + b^2}}\right) + \frac{L}{d_p} \cdot \sin\left(\frac{t_1}{\sqrt{a^2 + b^2}}\right) \\ z = a \cdot \cos\left(\frac{t_1}{\sqrt{a^2 + b^2}}\right) + \frac{b}{a} \cdot \sin\left(\frac{t_1}{\sqrt{a^2 + b^2}}\right) + \frac{L}{d_p} \cdot \cos\left(\frac{t_1}{\sqrt{a^2 + b^2}}\right) \end{array} \right. \quad (1)$$

где x, y, z – координаты точек в пространстве, мм; b/a – угловой коэффициент винтовой линии, $b = l_2 \cdot \pi \cdot k$; t – параметрическая переменная, t_2 – параметрическая переменная, мм; d – шаг дискретизации; L – длина дуги винтовой линии, мм; l – длина проекции винтовой линии на ось y , мм; d_p – диаметр пряжи, мм; K – крутка пряжи, кр/м.

Для моделирования отрезка волокнистого материала, генерируются волокна со случайными параметрами:

- радиус a из диапазона $[0, d_p/2]$; количество витков k из диапазона $[0, K \cdot l/1000]$;
- смещение витков вдоль оси y , равное r_2 из диапазона $[-\pi, \pi]$;
- смещение волокна вдоль оси x , равное r_1 из диапазона $[-(d_p - 2 \cdot a)/2, (d_p - 2 \cdot a)/2]$;
- смещение волокна вдоль оси z , равное r_3 из диапазона $[-(d_p - a)/2, (d_p - a)/2]$.

Генерация волокон продолжается до тех пор, пока линейная плотность модели T_m не достигает значения фактической линейной плотности T_f . После генерации контролируется условие отсутствия пересечения отдельных волокон и производится расчет теоретической пористости – доли вещества волокон в общем объеме текстильной нити.

На втором этапе разработана удобная для практического использования имитационная модель ткани. Для участка ткани параметрические уравнения:

$$\begin{array}{ll} \text{для нитей основы} & \text{для нитей утка} \\ t = \frac{t_1}{\sqrt{a^2 + b^2}} \quad \text{при } t_1 \in [0, L \cdot \text{шагом} d] & t = \frac{t_1}{\sqrt{a^2 + b^2}} \quad \text{при } t_1 \in [0, L \cdot \text{шагом} d] \\ x = a \cdot \sin\left(\frac{t_1}{\sqrt{a^2 + b^2}}\right) + \frac{b}{a} \cdot \cos\left(\frac{t_1}{\sqrt{a^2 + b^2}}\right) + \frac{L}{d_p} \cdot \sin\left(\frac{t_1}{\sqrt{a^2 + b^2}}\right) & x = b \cdot t - \frac{N_{\text{осн}} \cdot 2}{N_{\text{осн}}} \\ z = \left(a \cdot \cos\left(\frac{t_1}{\sqrt{a^2 + b^2}}\right) + \frac{b}{a} \cdot \sin\left(\frac{t_1}{\sqrt{a^2 + b^2}}\right) + \frac{L}{d_p} \cdot \cos\left(\frac{t_1}{\sqrt{a^2 + b^2}}\right)\right)_{\text{осн}} & y = a \cdot \sin\left(\frac{t_1}{\sqrt{a^2 + b^2}}\right) + \frac{b}{a} \cdot \cos\left(\frac{t_1}{\sqrt{a^2 + b^2}}\right) + \frac{L}{d_p} \cdot \sin\left(\frac{t_1}{\sqrt{a^2 + b^2}}\right) \\ + R_{\text{ут}} \cdot \sin\left(\frac{y}{l} \cdot \pi + j \cdot \pi\right) & z = \left(a \cdot \cos\left(\frac{t_1}{\sqrt{a^2 + b^2}}\right) + \frac{b}{a} \cdot \sin\left(\frac{t_1}{\sqrt{a^2 + b^2}}\right) + \frac{L}{d_p} \cdot \cos\left(\frac{t_1}{\sqrt{a^2 + b^2}}\right)\right)_{\text{ут}} \\ & + R_{\text{осн}} \cdot \sin\left(\frac{z}{l} \cdot \pi + (j+1) \cdot \pi\right) \end{array} \quad (2)$$

где $N_{\text{осн}}, N_{\text{ут}}$ – количество нитей основы и утка в моделируемом участке; j – порядковый номер моделируемой нити основы (утка); $C_{\text{осн}}, C_{\text{ут}}$ – коэффициенты отношения вертикального диаметра нити основы и утка соответственно к горизонтальному диаметру; $R_{\text{осн}}, R_{\text{ут}}$ – радиус нити основы и утка, мм; $\frac{L}{d_p} \cdot j$ – смещение каждой последующей нити вдоль оси x на половину периода изгиба для образования полотняного

переплетения; $R_{yt} \cdot \sin\left(\frac{!}{!} \cdot \frac{!}{!} + j \cdot \pi - \text{выражение для формирования изгибов нити с заданной амплитудой и периодичностью}; -\frac{!}{!_{\text{осн}} \cdot !} - \text{смещение нитей утка вдоль оси } x \text{ на четверть периода изгиба для совмещения изгибов нитей основы и утка}; \frac{!}{!_{yt} \cdot !} - \text{смещение нитей утка вдоль оси } y \text{ на четверть периода изгиба для совмещения изгибов нитей основы и утка}.$

Учитывая уравнение (1), которое использовалось при моделировании каждой отдельной нити, для участка ткани были внесены изменения, учитывающие изгибы нитей и искажения их поперечного сечения. Для моделирования принято плотняное переплетение, предполагается, что нити изгибаются в виде синусоид, характеристики которых зависят от количества и толщины нитей в моделируемом отрезке. Расчет общей пористости ткани проводится по формуле:

$$\frac{!}{!} = \left(1 - \frac{V_{\text{в}}}{V_{\text{от}}}\right) \cdot 100\%, \quad (4)$$

где $V_{\text{в}}$ – суммарный объем вещества волокон, м^3 ; $V_{\text{от}}$ – общий объем ткани, м^3 .

На основе разработанной модели созданы алгоритм имитационного моделирования и компьютерная программа (рис. 2), позволяющие исследовать влияние состава, структуры и свойств текстильной нити, ткани на изменение их пористости, а также производить обоснованный выбор параметров процесса пропитки при формировании комбинированных текстильных материалов.

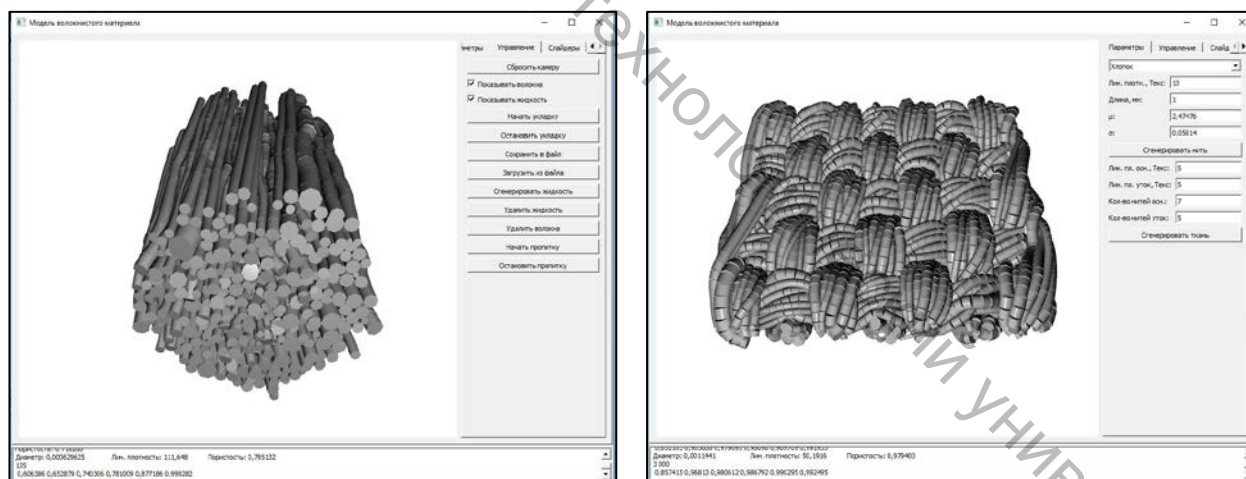


Рисунок 2 – Интерфейс программы для моделирования капиллярно-пористой структуры текстильной нити и ткани

Проведены экспериментальные исследования объема пор, способных заполняться жидкостью при пропитке, по оригинальной методике (табл. 1).

Верификация показала, что разработанные имитационные модели адекватны экспериментальным данным и позволяют прогнозировать рациональные технологические режимы для достижения эффективной пропитки при формировании комбинированных текстильных материалов.

Таблица 1 – Результаты определения теоретического и экспериментального значения пористости текстильных нитей

Линейная плотность, T_f , текс	Крутка, K , кр/м	Диаметр, d_p , мм	Пористость, %	
			теоретическая (модель), P_u	экспериментальная P_k
Хлопчатобумажная пряжа кольцевого способа прядения				
50	663	0,329	39,33	37,37
Льняная пряжа кольцевого способа прядения				
87	391	0,406	53,39	51,00
317	225	0,776	54,36	51,77
Полиамидная комплексная нить				
195	110	0,715	59,27	56,94
380	70	0,998	56,22	56,33
Вискозная комплексная нить				
195	140	0,614	64,26	60,60
390	70	0,869	59,98	57,00

Проведен анализ процесса самопроизвольной пропитки тканых полотен при формировании *каркасных текстильных материалов*. Установлено, что за время прохождения полотна через пропиточную ванну с полимерным связующим в случае тканей разреженной структуры происходит заполнение сквозных межнитевых макропор, а в случае тканей уплотненной структуры – межволоконных капилляров и пор пряжи или нитей, подчиняющееся законам капиллярного впитывания. Получены математические зависимости физико-химических свойств полимерного связующего от концентрации и температуры, комплексные модели кинетики пропитки водными дисперсиями тканей различного состава, устанавливающие связь с их геометрическими и структурными характеристиками, а также свойствами связующего:

– для тканых полотен разреженной структуры

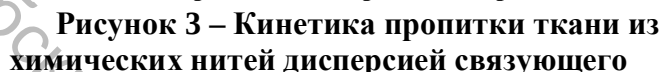
$$\frac{dh}{d\tau} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{(58,1 + 0,054c - 0,5t) \cdot \cos(21,0 + 0,03c - 0,2t) \cdot S \cdot (1,54 - 0,004c - 0,024t) \cdot P \cdot \tau}{d^3}} \quad (5)$$

– для тканых полотен с уплотненной структурой

$$\frac{dh}{d\tau} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{(58,1 + 0,054c - 0,5t) \cdot \cos(21,0 + 0,03c - 0,2t)}{d^3}} \quad (6)$$

где c – концентрация полимерного связующего, г/л; t – температура пропитки, °С; τ – продолжительность пропитки, с; $S = a \cdot b$ – площадь поры, м²; $P = 2 \cdot a + 2 \cdot b$ – периметр поры, м, $a = \frac{1}{\mu_y} - \mu_y$, $b = \frac{1}{\mu_l} - \mu_l$, P_o , P_y – плотность по основе и утку соответственно, μ_o и μ_y – максимальные размеры поперечного сечения нити в ткани вдоль большой оси при деформации, м, d – средний диаметр пор и капилляров, м, d_e – средний диаметр волокон, м, P_u – пористость текстильной нити.

Анализ кинетики пропитки тканей разреженной структуры (рис. 3) показывает, что при концентрации полимерной дисперсии менее 150 г/л скорость возрастает в 2 раза при повышении температуры пропиточной ванны до 60 °С, в то время как при концентрации 400–500 г/л скорость пропитки практически не зависит от температуры.



При формировании *слоистых материалов* клеевым способом под действием внешнего давления важнейшим физико-химическим явлением, сопровождающим технологический процесс, является адгезия, а показателем, характеризующим качество слоистого материала – прочность адгезионного соединения. Исследование механизма разрушения адгезионного соединения слоистых материалов с тканым покрытием показало, что причиной разрушений является разрыв волокон, даже при малых усилиях при раздирании (1,8–2,0 Н/см) приходится 70–85 % разрушений.

1 – нетканый материал; 2 – нити основы; 3 – нити утка

Рисунок 4 – Разрез слоистых текстильных материалов вдоль нитей утка тканого полотна

где B – количество волокон приповерхностного слоя, $1/\text{см}^2$; R_g – разрывная нагрузка

волокна, H ; L – ширина слоистого текстильного материала, см; r – радиус нити (пряжи), см; h – глубина проникновения полимерного связующего, см; l – расстояние между нитями основы, см.

Глубина проникновения полимерного связующего определена с использованием классической теории фильтрационной консолидации. Исследовано движения полимерного связующего в текстильном материале с учетом совместного действия на тканое полотно деформационных и фильтрационных нагрузок. Определена математическая модель для толщины слоя полимерного связующего на поверхности текстильного материала и глубины проникновения в момент времени τ :

$$h(\tau) = h_0 + \int_0^\tau \frac{k}{\eta} P_0 d\tau \quad (8)$$

где h_0 – толщина наносимого полимерного связующего, м; $k = \frac{1}{\eta} d^3$ – коэффициент проницаемости, м², характеризующий суммарную площадь сечения пор и капилляров, по которым идет процесс пропитки.

Для определения распределения порового давления по толщине текстильного материала при неустановившемся движении полимерного связующего численным методом решена классическая задача движения несжимаемой жидкости в упруго-деформируемом материале с учетом изменения его пористости при уплотнении при действии внешнего давления.

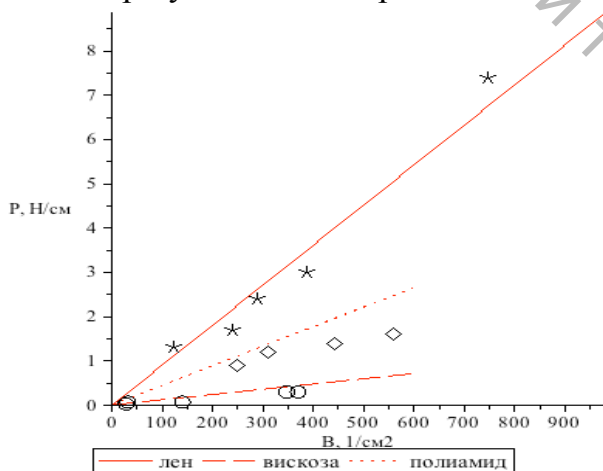


Рисунок 5 – Зависимость прочности адгезионного соединения от ворсистости текстильной нити

Результаты теоретических экспериментальных исследований зависимости прочности адгезионного соединения от ворсистости текстильной нити (рис. 5) и глубины проникновения полимерного связующего (табл. 2) подтверждают возможность использования уравнений (7) и (8) для прогнозирования прочности адгезионного соединения и управления режимными параметрами склеивания при формировании слоистых материалов.

Таблица 2 – Теоретическое и экспериментальное значение прочности адгезионного соединения

Пористость (теоретическая), P_R	Экспериментальное значение $P_{\text{эсп}}$, Н/см	Толщина полимерной пленки $h(\tau)$ при $\tau=3$ с, м	Расчетное значение $P_{\text{расч}}$, Н/см	Относительная погрешность, %
0,62	2,8	0,00035	2,69	3,9
0,75	3,5	0,00028	3,30	5,7
0,83	4,3	0,00016	4,15	3,5
0,91	4,7	0,00011	4,50	4,2

Для предотвращения проникновения связующего на лицевую сторону покрытия и достижения максимальной адгезионной прочности необходимо обеспечить проникновение связующего на глубину не более $2/3$ от толщины наносимой пленки.

Четвертая глава посвящена разработке и исследованию новых технологий получения комбинированных текстильных материалов клеевым способом и способом пропитки тканей, а также разработке рецептур полимерных связующих для придания заданных свойств.

Независимо от способа формирования технологический процесс состоит из следующих операций: *подготовка исходных материалов*: основы, полимерного связующего, текстильного материала; *формирование структуры* комбинированного материала (пропитка, склеивание); *сушка и термообработка* комбинированного материала, формирование монолитной структуры.

Разработаны составы полимерных композиций и технологические режимы нанесения на материал основы для формирования *слоистых* текстильных материалов, используемых в качестве текстильных настенных покрытий. Для материалов с *ворсовым* и *тканым* покрытием в качестве компонентов полимерного связующего выбраны поливиниловый спирт (ПВС) и поливинилацетатная дисперсия (ПВА). Выбор осуществлялся на основании исследования зависимости нормируемых показателей прочности адгезионного соединения и жесткости готового слоистого материала от качественного и количественного состава полимерного связующего. Согласно разработанным техническим условиям показатель жесткости текстильных настенных покрытий не должен превышать 25–27 сН, стойкость к истиранию для ворсовых материалов не менее 40, усилие при раздирании для материалов с тканым покрытием не менее 3,5 Н/см. Показано, что использование ПВС и ПВА индивидуально не позволяет достичь требуемых показателей качества. На рисунке 6 представлены результаты исследования стойкости ворса к истиранию и жесткости материалов на различных основах: бумажная, нетканое полотно (флизелин), льняная ткань.

Анализ результатов исследования показал, что при формировании слоистых материалов с ворсовым покрытием предъявляемым требованиям удовлетворяет композиция, включающая, % масс.: ПВА – 95 и ПВС (10%-й раствор) – 5.

Исследование влияния состава связующего на показатели качества слоистых материалов с покрытием из льняной ткани (270 г/м^2) показали, что композиция на основе ПВА не позволяет достичь требуемой прочности адгезионного соединения.

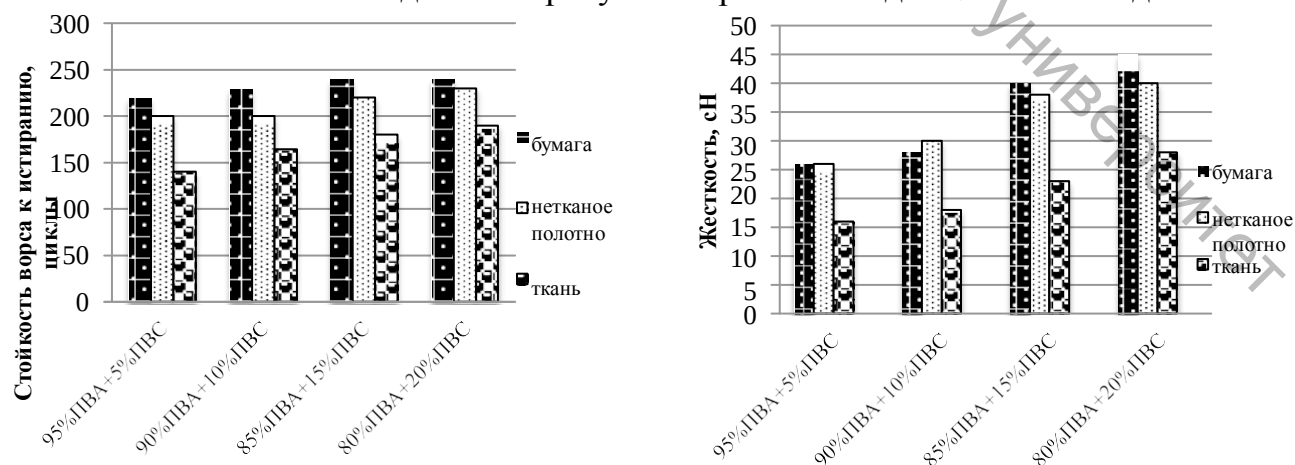


Рисунок 6 – Влияние состава полимерного связующего на качественные показатели слоистого материала с ворсовым покрытием

Изучено влияние концентрации ПВС на усилие при раздирании и жесткость слоистых материалов с тканым покрытием. Показано, что использование нетканого полотна в качестве основы слоистого текстильного материала позволяет уменьшить концентрацию ПВС для достижения требуемого показателя прочности адгезионного соединения. Для повышения эластичности готового материала произведен обоснованный выбор пластификатора и его содержание в полимерной композиции.

Рекомендованы следующие составы, % масс.: для слоистого текстильного материала бумажная основа – льняное тканое полотно ПВС (6 %) – 99,4–99,5, ортофосфорная кислота (85 %) – 0,5–0,6; для слоистого текстильного материала флизелиновая основа – льняное тканое полотно ПВС (4 %) – 99,6–99,8, ортофосфорная кислота (85 %) – 0,2–0,4.

Разработка технологии и устройства для формирования слоистых текстильных материалов с ворсовым покрытием

В производственных условиях ОАО «Гомельобой» разработана технология формирования декоративного ворсового покрытия на материале основы. В качестве основы при формировании рулонных материалов используется бумага (80–110 г/м²) или нетканое полотно (флизелин 65–70 г/м²). Особенности новой технологии являются: использование в качестве ворса коротковолокнистых отходов (нитроновые/полиэфирные) производства искусственного меха с длиной волокон не более 25 мм, а также формирование ворсового покрытия на непрерывно движущуюся основу с пленкой полимерного связующего осуществляется разработанным и запатентованным аэродинамическим устройством (рис. 7).

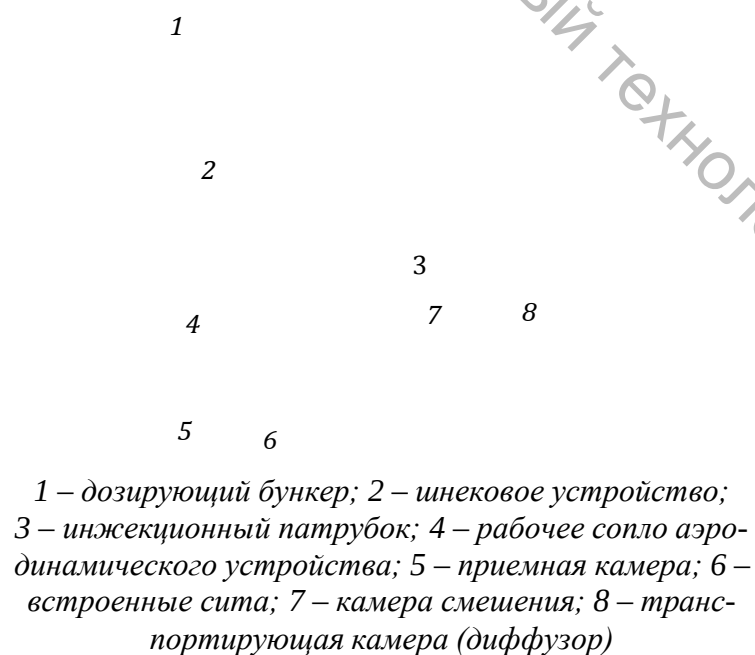
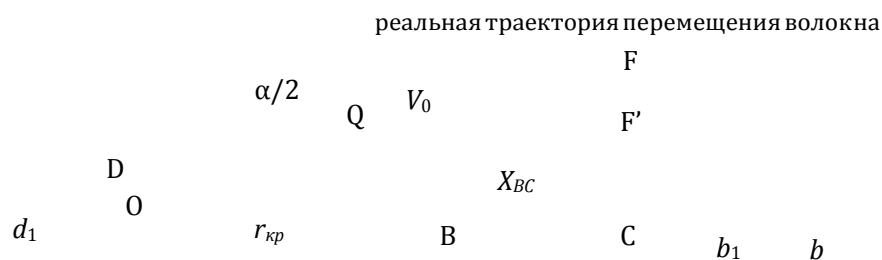


Рисунок 7 – Схема аэродинамического устройства

В результате теоретических и экспериментальных исследований взаимодействия воздушного потока и волокнистых частиц разработан алгоритм определения основных геометрических параметров аэродинамического устройства и формы диффузора, обеспечивающих эффективное протекание процессов непрерывного смешения двух потоков – волокнистой массы, подаваемой из дозирующего бункера и воздушного потока, транспортирования волокнистых частиц воздушным потоком и их осаждение на материал основы с пленкой связующего.

Проведены теоретические и экспериментальные исследования влияния взаимного расположения полотна основы и распыляющего диффузора аэродинамического устройства для минимизации количества незафиксированных волокнистых частиц, удаляемых из зоны формирования ворсового покрытия (рис. 8). Оптимальное расстояние между движущейся основой и диффузором устройства с учетом аэродинамических параметров волокна определяется математической моделью (9).



d_1 – ширина основания диффузора, м; $r_{кр}$ – радиус кривизны, м; $\alpha/2$ – угол расширения, рад.; X_{BC} – расстояние между диффузором и основой, м; V_0 – скорость волокна при истечении из диффузора, м/с; b_1 – ширина напыления полотна, м; b – заданная ширина полотна, м

Рисунок 8 – Схема взаимодействия воздушно-волокнистого потока с основой

$$l_{1''} = \frac{t^2 \cdot \frac{1}{2} \pi d_s \mu^*}{2m \cdot e} \quad (9)$$

где μ^* – коэффициент динамической вязкости среды, Па·с; d_s – эквивалентный диаметр волокна, м; m – масса волокна, кг; t – время движения волокна, с.

Оценив время t прямолинейного движения частицы $t = \frac{l_{1''}}{V_0}$ из уравнения (9), получим длину пути с учетом силы сопротивления воздушной среды. За время t волокнистая частица должна преодолеть участок пути $l_{1''}$ и зафиксироваться на пленке полимерного связующего.

В результате статистической обработки экспериментальных данных получены математические модели, позволяющие определять зависимость поверхностной плотности слоистого материала с ворсовым покрытием, коэффициента вариации по поверхностной плотности от давления, подаваемого в аэродинамическое устройство, и от расстояния между полотном основы и диффузором, а также оптимизировать указанные параметры технологического процесса. Давление, подаваемое в аэродинамическое устройство, варьировалось на трех уровнях в интервале 0,10÷0,20 МПа с шагом 0,05; расстояние между полотном основы и диффузором в интервале 0,1÷0,5 м с шагом 0,2. Максимально полное и равномерное заполнение материала основы ворсовым покрытием происходит при давлении, подаваемом в аэродинамическое устройство 0,15–0,20 МПа, и расстоянии от полотна основы до диффузора аэродинамического устройства 0,35–0,45 м.

Разработан алгоритм определения основных технологических параметров формирования рулонных слоистых материалов с ворсовым покрытием аэродинамическим способом, включающий расчет: скорости движения полотна основы, расходной концентрации волокнистого материала, критической скорости потока сжатого воздуха, скорости течения сжатого воздуха на входе в диффузор, оптимального угла расширения диффузора, давления сжатого воздуха в камере смешения.

Разработка технологии формирования слоистых материалов с тканым покрытием

В производственных условиях ОАО «Белорусские обои» разработана технология формирования слоистого материала с использованием в качестве декоративного компонента тканей (250–300 г/м²).

Решена задача выбора рациональных режимов формирования слоистых материалов с тканым покрытием клеевым способом на линии для производства бумажных обоев. Экспериментально получена математическая модель, позволяющая регулировать давление в узле склеивания (X_1 , Па) и скорость движения полотна (X_2 , м/с) для достижения требуемой прочности соединения слоев (P_c , Н/см):

$$P_c = 4,37 + 1,12 \cdot X_1 - 0,8 \cdot X_2 + 0,55 \cdot X_1^2. \quad (10)$$

Давление в узле склеивания устанавливалось в интервале 20÷30 кПа с шагом 5, скорость движения полотна основы – 0,1÷0,5 м/с с шагом 0,2. Установлены оптимальный угол подачи материалов с различными деформационными свойствами в узел склеивания (15 град.), давление склеивания (25–30 кПа) и скорость движения полотна (0,3–0,5 м/с), что позволит устранить дефект стягиваемости материалов и достичь требуемой прочности адгезионного соединения, не прибегая к внесению конструктивных изменений в технологическую линию.

В результате экспериментальных исследований прочности адгезионного соединения и жесткости (рис. 9) для слоистого текстильного материала, состоящего из льняной ткани (270 г/м²) и полотна основы (70 - 100 г/м²) рекомендованы оптимальные расходы полимерного связующего при формировании слоистого текстильного материала на бумажной и нетканой основах.

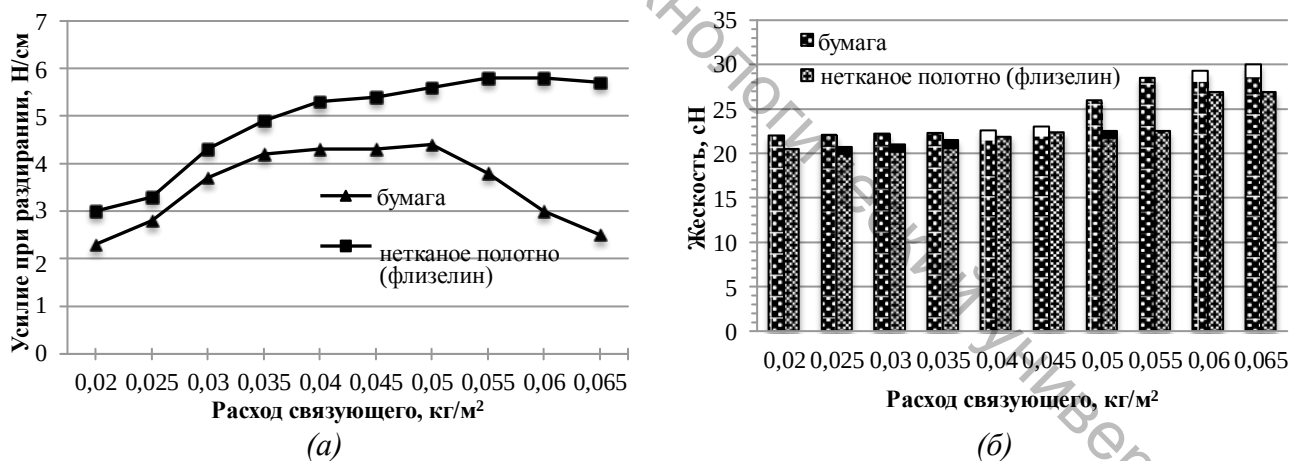


Рисунок 9 – Зависимость прочности адгезионного соединения (а) и жесткости (б) слоистого текстильного материала от расхода полимерного связующего

Разработка технологии формирования каркасных текстильных материалов способом пропитки тканых полотен

В производственных условиях ОАО «Витебский комбинат шелковых тканей» разработана сокращенная технология каркасных текстильных материалов с использованием тканых полотен (400–460 г/м²) из химических нитей больших линейных плотностей технического назначения (195–390 текс). Формирование осуществляется на непрерывной технологической линии, состоящей из ткацкого станка, узла про-

питки и сушильной камеры. Преимуществом технологии является возможность придания комплекса специальных свойств и multifunctionality в процессе однократной пропитки тканого полотна полимерным связующим.

Одним из важнейших свойств *каркасного текстильного материала*, отличающего его от *текстильного*, является жесткость, которая создается пропиткой полимерным связующим.

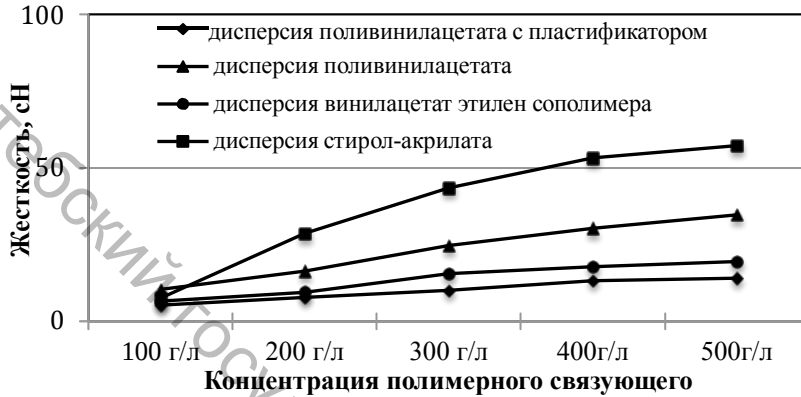


Рисунок 10 – Зависимость жесткости текстильного материала от вида полимерного связующего

Экспериментально установлено, что дисперсия стирол-акрилата позволяет в широком диапазоне варьировать показателем жесткости для материала различного назначения (рис.10). Экспериментально получена зависимость, позволяющая прогнозировать показатель жесткости материала, задавая необходимую концентрацию (c , г/л) дисперсии связующего:

$$G = 31,9 \ln c - 139,6. \quad (11)$$

Исследована зависимость скорости (рис. 11) и полноты пропитки (рис. 12) тканей из химических нитей от концентрации и температуры водной дисперсии полимерного связующего.

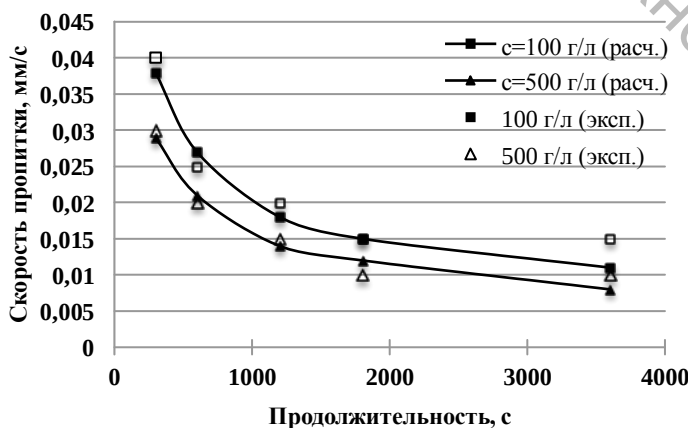


Рисунок 11 – Зависимость скорости пропитки от концентрации полимерного связующего

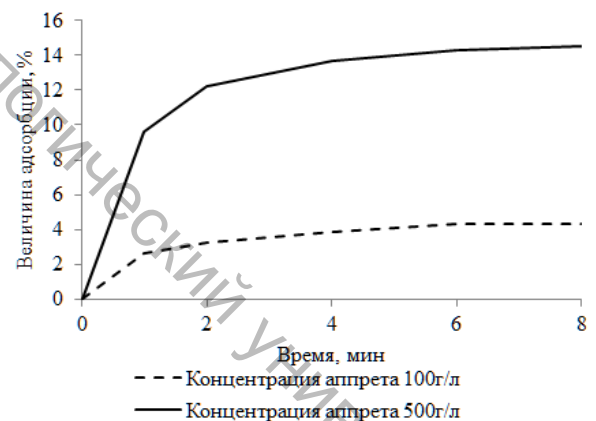


Рисунок 12 – Кинетические кривые адсорбции полимерного связующего

Показано, что пропитка тканого полотна низковязкими водными дисперсиями протекает в течение 300 с, при дальнейшем увеличении продолжительности скорость пропитки практически не изменяется. Доказано незначительное влияние концентрации водной дисперсии полимерного связующего на скорость пропитки.

Насыщение тканого полотна дисперсной фазой протекает с высокой скоростью в начальный период пропитки материала (в течение 1–2 минут). Необходимо отметить весьма незначительное влияние температуры в интервале 20–60 °С на кинетику процесса. Максимальная величина адсорбции от температуры не зависит.

Для комбинированных текстильных материалов, полученных способом однократной пропитки тканого полотна связующим на основе стирол-акрилатной дисперсии, разработаны рецептуры композиций придания заданных свойств – грязе-, водоотталкивания, пыленепроницаемости, огне-, термостойкости. Выбор рецептуры зависит от конкретной области использования материала. В качестве специальных добавок, входящих в полимерные композиции, используются: дисперсия фтористого соединения – формирование грязе-, водоотталкивающих свойств, олигомерный фосфатный эфир – формирование огне-, термостойкости. Получены регрессионные уравнения зависимости показателей, характеризующих специальные свойства комбинированных текстильных материалов от концентрации вводимой добавки, которые могут использоваться в условиях реального производства.

Заключительными операциями технологии формирования комбинированных текстильных материалов являются *сушка и термообработка*. От правильности их организации и проведения зависят потребительские, эксплуатационные, функциональные и другие свойства готовых материалов и изделий.

Пятая глава посвящена исследованию закономерностей процессов сушки и термообработки, позволяющих установить зависимость оптимальных режимов от структуры, количественного и качественного состава, физико-химических и теплофизических свойств используемых текстильных компонентов и полимерных связующих. Для решения задачи использован аппарат классической теории сушки и теплопроводности А. В. Лыкова.

В результате теоретических и экспериментальных исследований получены кинетические и температурные кривые конвективной сушки комбинированных текстильных материалов и определены основные характерные периоды для расчета общей продолжительности и выбора рациональных параметров сушки. Установлено, что для *слоистых* материалов клеевого способа формирования необходимо учитывать продолжительность периода прогревания материала до температуры начала испарения влаги, для *каркасных* материалов, полученных способом пропитки, продолжительностью этого периода можно пренебречь. Получена и подтверждена экспериментально математическая модель, позволяющая определять распределение температуры и продолжительность прогревания в слоистом текстильном материале различного сырьевого состава и толщины, преобразованного в эквивалентный однослойный:

$$t(0, \tau) = t_1 + 1,27 \cdot t_g \left(\frac{t_1 - t_g}{a_{\text{экв}}} \right) \cdot e^{-\frac{1,57^2 \cdot \tau}{R^2}} \quad (12)$$

где $t(0, \tau)$ – температура в центре слоистого материала в момент времени τ , °C; t_g – температура воздуха в термокамере, °C; t_0 – исходная температура материала, °C; $a_{\text{экв}}$ – коэффициент эквивалентной теплопроводности, м²/с; R – ½ толщины слоистого материала, м; τ – продолжительность термообработки, с.

Разработана методика расчета общей продолжительности сушки *слоистых материалов* с учетом продолжительности периода прогревания, различия сырьевого состава, геометрических и теплофизических свойств слоев, включающая: расчет теплопроводности текстильного материала с учетом его пористости; преобразование двухслойного материала в однослойный (расчет эквивалентного коэффициента теплопроводности, теплоемкости, объемной плотности, толщины коэффициента темпе-

ратуропроводности); расчет продолжительности периода прогревания слоистого текстильного материала; расчет относительного коэффициента сушки; расчет общей продолжительности: первого (постоянной скорости) и второго (падающей скорости) периодов сушки, а также периода прогревания.

Данная методика позволит управлять технологическими параметрами непрерывного процесса формирования слоистого материала в производственных условиях.

Анализ температурных кривых при сушке *каркасных текстильных материалов* показывает, что общая продолжительность сушки зависит от концентрации водной дисперсии полимерных связующих и волокнистого состава текстильного материала. Установлено, что при сушке каркасных материалов из гидрофобных полиамидных нитей с увеличением концентрации водной дисперсии полимерного связующего более 200 г/л скорость сушки в первом и втором периодах возрастает, общая продолжительность сушки сокращается в 2–2,5 раза; при сушке материалов из гидрофильных вискозных нитей с увеличением концентрации полимерной дисперсии скорость сушки в первом и втором периодах уменьшается, общая продолжительность сушки возрастает (рис. 13).

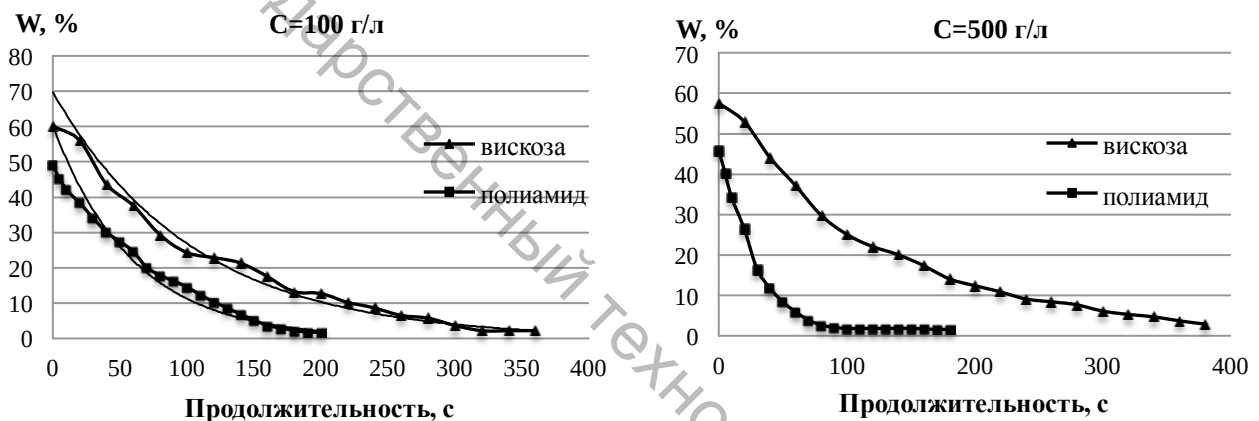


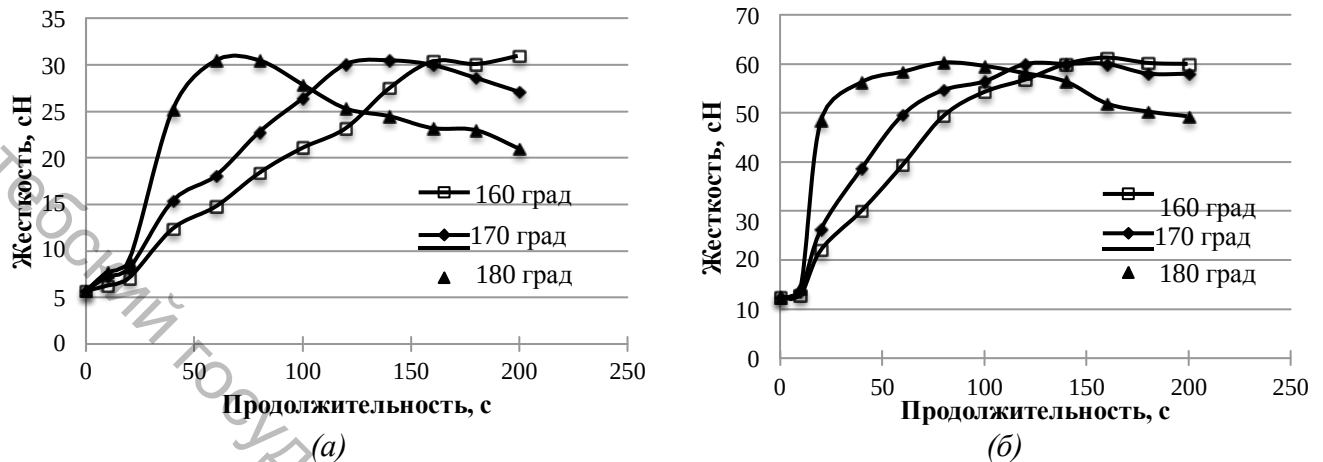
Рисунок 13 – Зависимость кинетики сушки текстильных материалов из полиамидных и вискозных нитей от концентрации полимерного связующего

Образованная после сушки пленка связующего характеризуется наличием нескоаlessированных глобул, неоднородной структурой, что не обеспечивает придание требуемых свойств готовому материалу. Последующая после сушки термообработка необходима для структурирования полимерной пленки на поверхности волокнистого материала, что достигается при температуре 160–180 °С.

Проведены экспериментальные исследования и получены зависимости коэффициента теплопроводности и теплоемкости комбинированных текстильных материалов из полиамидных и вискозных нитей от концентрации водной дисперсии полимерного связующего и температуры, позволяющие определять распределение температуры при термофиксации и управлять режимными параметрами, которые подтверждают разработанные математические модели.

Для определения продолжительности термофиксации и завершения пленкообразования проведены исследования зависимости жесткости материала от продолжительности термообработки при температурах 160–180 °С. Зависимости носят одинаковый для двух концентраций нелинейный характер и их можно условно разделить на три участка, различающихся углом наклона кривых (рис.14). Первый участок соответствует прогреванию комбинированного материала до температуры t_i и его про-

должительность зависит от концентрации полимерного связующего и не зависит от сырьевого состава тканого полотна. На втором участке происходят процессы пленкообразования, жесткость полотна возрастает, причем, чем выше температура термофиксации, тем быстрее протекают процессы пленкообразования.



(а) – концентрация связующего 200 г/л; (б) – концентрация связующего 500 г/л

Рисунок 14 – Кинетические кривые процесса пленкообразования

Точка перегиба на кривых соответствует завершению пленкообразования и оптимальному значению температуры и продолжительности термофиксации (60–180 с). В результате исследований предложена методика расчета продолжительности сушки и термообработки каркасных текстильных материалов.

В шестой главе предложен способ интенсификации процессов сушки и термообработки с целью сокращения продолжительности процессов и повышения качества комбинированных текстильных материалов. Экспериментально доказано интенсифицирующее действие СВЧ-излучения в рабочем диапазоне 300–850 Вт при частоте 2450 Гц на процессы формирования комбинированных текстильных материалов.

Установлено повышение смачивающей способности водной дисперсии полимерного связующего в диапазоне концентраций 100–300 г/л. Получены регрессионные модели зависимости его температуры и физико-химических свойств от мощности и продолжительности воздействия электромагнитных волн СВЧ-диапазона. Проанализирована зависимость скорости пропитки тканых полотен из химических нитей от режимов СВЧ-обработки, получена кинетическая модель:

$$\frac{dh}{d\tau} = \frac{c}{(0,763\tau + 82,5) \cdot (-0,12P + 281) \cdot 7,68 \cdot 10^{11} c - 2,55 \cdot 10^{11}} - \frac{c}{(0,763\tau + 82,5) \cdot (-0,12P + 281) \cdot 7,68 \cdot 10^{11} c - 2,55 \cdot 10^{11}} \quad (13)$$

где P – мощность СВЧ-излучения, Вт; τ – продолжительность обработки, с; c – концентрация водной дисперсии полимерного связующего, г/л.

Установлено, что скорость пропитки не зависит от мощности СВЧ-излучения и концентрации полимерного связующего, но значительно увеличивается по сравнению с традиционным способом пропитки, происходит ускорение в 10–12 раз.

В результате оптимизации с использованием обобщенной функции желательности, учитывающей температуру, высоту капиллярного подъема и расход энергии на единицу объема полимерного связующего, получена простая для технологических расчетов эмпирическая зависимость оптимальной комбинации режимных параметров СВЧ-обработки:

$$\tau_{\text{СВЧ}} = \frac{6400 + 6,36c}{25 + P'} \quad (14)$$

Проведен сравнительный анализ конвективной и СВЧ-сушки комбинированных материалов и установлено сокращение продолжительности процесса, повышение степени полезного использования дисперсии полимерного связующего и снижение миграции дисперсной фазы к поверхностным слоям материала (рис. 15). Исследована зависимость показателя жесткости от продолжительности термофиксации в условиях СВЧ-обработки (рис. 16). Показана возможность совмещения операции сушки и термофиксации, а также сокращение продолжительности теплового воздействия на материал.



Рисунок 15 – Величина сухого привеса нитей утка ткани (с=500 г/л)

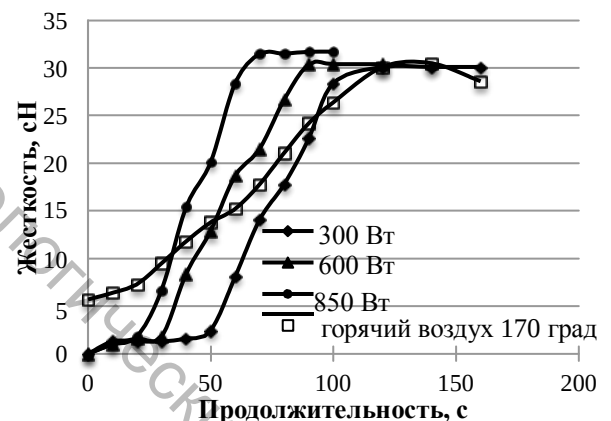


Рисунок 16 – Зависимость жесткости от продолжительности термофиксации

Экспериментальное исследование изменения влагосодержания слоистого текстильного материала показало, что при конвективной сушке выход на равновесное значение достигается за 160–180 с, в то время как СВЧ-сушка позволяет достигнуть нулевой влажности за 10–12 с. Очевидное отличие кинетики сушки – отсутствие стадии прогревания, что объясняется спецификой СВЧ-нагрева, термодиффузия направлена от центра к поверхности материала (рис. 17).

Произведена оценка влияния СВЧ-обработки на физико-механические характеристики комбинированных текстильных материалов. Проведено сравнение традиционной и СВЧ-технологий по некоторым значимым показателям качества комбинированных материалов: жесткость, устойчивость к истиранию, разрывная нагрузка, водоотталкивающие свойства.

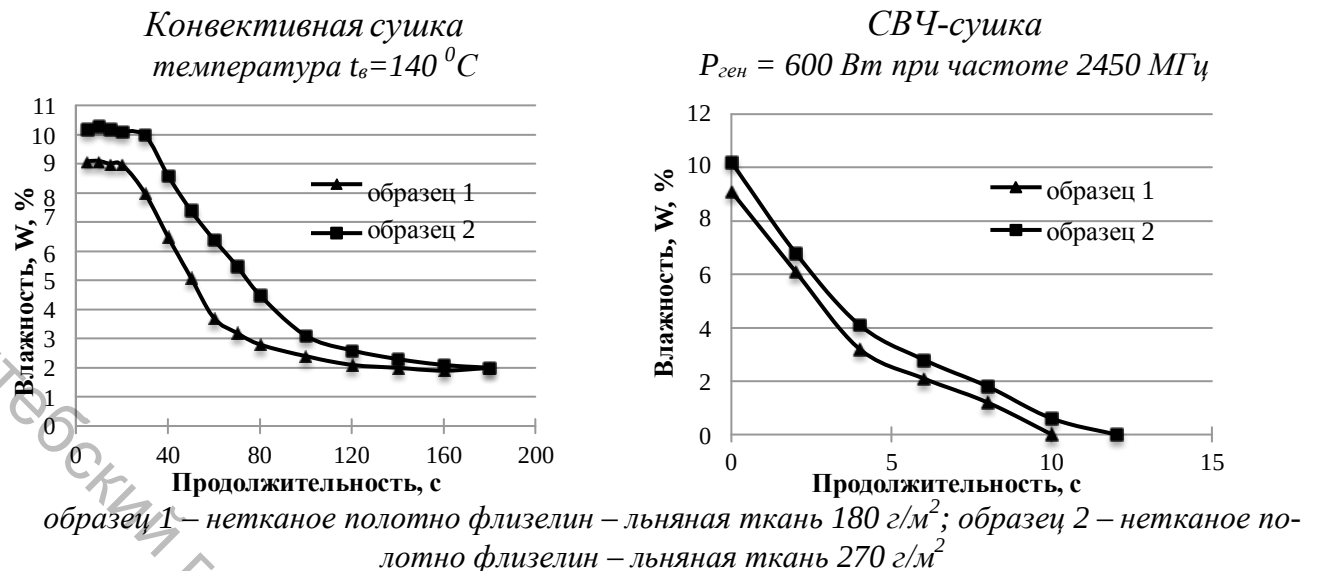
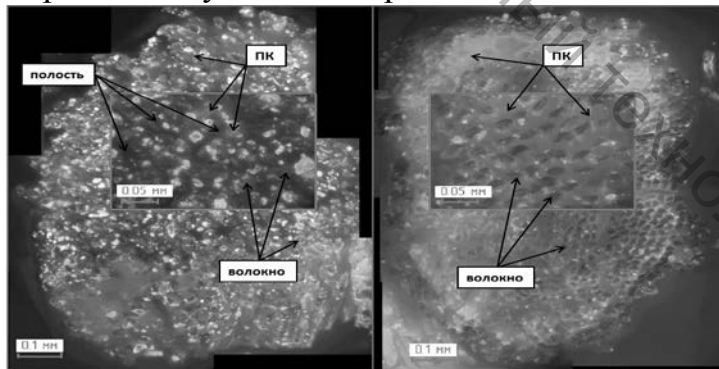


Рисунок 17 – Кинетические кривые сушки слоистых текстильных материалов

Исследование микроструктуры готового материала доказывает более полное и равномерное распределение связующего в объеме тканого полотна, а также отсутствие нескоаглицированных глобул (рис. 18). Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что под воздействием СВЧ-волн происходит улучшение физико-механических свойств при меньшей концентрации водной дисперсии полимерного связующего и продолжительности тепловых обработок.



традиционная технология *СВЧ-технология*

Рисунок 18 – Микрофотографии каркасного текстильного материала из вискозных нитей

Результаты исследования водоотталкивающих свойств показали, что краевой угол смачивания практически не отличается от значений по традиционной технологии. Это связано с тем, что достижение необходимого эффекта отталкивания смачивающей жидкости не зависит от глубины и равномерности распределения гидрофобизатора. Установлено, что необходимый эффект достигается при значительном сокращении продолжительности термообработки.

Для слоистых текстильных материалов, в том числе ворсовых, проведены исследования показателей качества – прочность связи между слоями и устойчивость ворсового покрытия к истиранию после конвективной сушки полотен и в условиях СВЧ-нагрева. Установлено, что прочность адгезионного соединения возрастает на 10–30 %, устойчивость ворсового покрытия – на 5–15 %.

Применение СВЧ-нагрева позволило повысить эффективность использования связующего, не увеличивая концентрацию компонентов: жесткость комбинированных материалов возрастает в среднем на 25–30 %, стойкость к истиранию – в 1,5–1,7 раза, прочность – на 15–20 %.

В результате теоретических и экспериментальных исследований предложены рациональные схемы построения технологий формирования комбинированных текстильных материалов непрерывным способом с использованием СВЧ-обработки.

В восьмой главе представлены результаты промышленных испытаний и внедрения разработанных технологий на предприятиях Республики Беларусь, а также ассортимент новых импортозамещающих комбинированных текстильных материалов, их физико-механические свойства и предложены направления использования.

Применение разработанного аэродинамического устройства для формирования ворсового покрытия дало возможность освоить новую технологию и ассортимент рулонных ворсовых материалов в производственных условиях ОАО «Гомельобои». Экономический эффект заключается в получении предприятием дополнительной прибыли при выпуске нового вида продукции. Внедрение технологии получения слоистых материалов с тканым покрытием осуществлено на ОАО «Белорусские обои» при производстве нового ассортимента обоев – текстильных настенных покрытий. Для потребителя отпускная цена одного условного куска (трубки) текстильных настенных покрытий в 2,5–4,0 раза дешевле импортных аналогов. Технология каркасных текстильных материалов внедрена на ОАО «Витебский комбинат шелковых тканей». В период с 2015 года по 2019 год выпущено 322528 п.м. многофункциональных комбинированных текстильных материалов со специальными свойствами и реализовано на сумму 1939,7 тыс. бел. рублей. Проведена широкая промышленная апробация новых комбинированных текстильных материалов и замена импортных аналогов при производстве товаров народного потребления.

Разработанная СВЧ-технология формирования слоистых текстильных материалов прошла апробацию и внедрена в условиях ПУП «Минская обойная фабрика» при производстве текстильных настенных покрытий. Расчет экономической эффективности произведен на основе снижения затрат при замене конвективной сушильной установки установленной мощностью $N_1 = 30$ кВт на установку СВЧ-сушки. Экономия электрической энергии от внедрения при годовом фонде времени 276 дней и 8-часовом рабочем дне составляет 50784 кВт*ч. Годовой экономический эффект от внедрения разработанной и оптимизированной технологии СВЧ-сушки составил 86,9 млн бел. руб. (311,3 тыс. российских рублей) в ценах на 01.12.2015 г.

Разработанные и защищенные патентами Республики Беларусь новые комбинированные текстильные материалы и технологии их производства позволят расширить ассортимент технического текстиля и заменить импортные материалы при производстве товаров народного потребления. Результаты исследований внедрены в учебный процесс при подготовке студентов в УО «ВГТУ».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработаны теоретические и технологические основы формирования комбинированных текстильных материалов, созданы теоретические и экспериментальные методы, позволяющие проектировать структуру и управлять основными технологическими параметрами на всех этапах производства, прогнозировать и оценивать качественные показатели материалов.

2. Установлена номенклатура показателей качества, позволяющая оптимизировать технологические параметры процесса формирования и определять потребительские и эксплуатационные свойства новых комбинированных текстильных материалов.
3. Разработан алгоритм моделирования одномерных и двумерных текстильных материалов, учитывающий их капиллярно-пористую структуру, комплекс свойств нитей и параметры строения тканей. Разработанная модель реализована в компьютерной программе, позволяющей оценить изменение пористости текстильного материала в зависимости от состава, структуры и свойств, а также прогнозировать их способность пропитываться полимерным связующим.
4. Установлены кинетические закономерности самопроизвольной пропитки тканых полотен из химических нитей большой линейной плотности при формировании комбинированных *каркасных текстильных материалов*, учитывающие изменение физико-химических свойств водных дисперсий полимерных связующих в зависимости от концентрации и температуры, а также пористости текстильного материала. Получена аналитическая зависимость, позволяющая определить влияние свойств текстильного материала, полимерного связующего и технологических режимов на полноту пропитки, характеризующуюся количеством адсорбированного вещества.
5. В результате теоретико-экспериментального исследования получена кинетическая зависимость пропитки тканей полимерным связующим под воздействием внешнего давления при формировании комбинированных *слоистых текстильных материалов*, учитывающая структурные свойства текстильного материала и физические свойства полимерного связующего, позволяющая регулировать глубину проникновения связующего в тканое полотно при соединении слоев. Выявлен механизм разрушения слоистого текстильного материала, установлено, что прочность адгезионного соединения зависит от ворсистости нитей и глубины проникновения связующего. Получена математическая модель для прогнозирования прочности адгезионного соединения слоев при формировании слоистых текстильных материалов.
6. Разработаны составы полимерных композиций с учетом назначения и технологические режимы их нанесения при формировании комбинированных текстильных материалов с заданными свойствами. Для формирования *слоистых* материалов с ворсовым и тканым покрытием в качестве базовых компонентов полимерного связующего предложено использовать поливиниловый спирт (ПВС) и поливинилацетатную дисперсию (ПВА), для *каркасных текстильных* материалов – стирол-акрилатные водные дисперсии.
7. Теоретически обоснована и разработана технология формирования ворсового покрытия непрерывным способом. Экспериментально доказана возможность использования коротковолокнистых отходов текстильного производства для формирования ворсового покрытия. В результате исследования взаимодействия воздушного потока и волокнистых частиц разработана конструкция аэродинамического устройства и предложен алгоритм расчета его геометрических параметров, определены и экспериментально подтверждены зависимости показателей качества ворсового покрытия от давления воздуха, подаваемого в аэродинамическое устройство, и расположения диффузора аэродинамического устройства относительно непрерывно движущегося полотна основы.
8. Экспериментально установлены оптимальные технологические параметры формирования слоистых материалов с тканым покрытием: значение угла подачи матери-

алов с различными деформационными свойствами в клеевой узел, давления в секции прижимных валов при их соединении, а также скорости движения полотна. Обоснована целесообразность применения в качестве декоративного слоя тканей из короткого льняного волокна, что позволит повысить долю использования низкосортного сырья для выработки технического текстиля для интерьера, снизить себестоимость высококачественных экологических готовых материалов.

9. Экспериментально определены оптимальные технологические режимы пропитки при формировании каркасных текстильных материалов непрерывным способом. Установлена зависимость количества адсорбированного вещества при пропитке тканых полотен от их структуры, а также от концентрации и температуры полимерного связующего. Показано незначительное влияние температуры на кинетику процесса и максимальную величину адсорбции, а также замедление процесса адсорбции и уменьшение его равновесного значения при увеличении пористости тканого полотна. Разработаны рецептуры полимерных связующих для придания специальных свойств (грязе-, масло-, водоотталкивания, огне-, термостойкости, пыленепроницаемости), получены зависимости указанных свойств от концентрации специальных добавок в полимерной композиции.

10. Установлены кинетические и температурные зависимости конвективной сушки комбинированных текстильных материалов, определены основные характерные периоды. Доказано, что при сушке *слоистых* материалов необходимо учитывать продолжительность периода прогревания до температуры начала испарения влаги, для *каркасных* текстильных материалов – продолжительностью этого периода можно пренебречь. Разработаны методы расчета общей продолжительности сушки и термообработки комбинированных материалов, учитывающие их структуру, геометрические и тепловые свойства, а также состав полимерного связующего.

11. Доказано интенсифицирующее действие сверхвысокочастотного (СВЧ) излучения в рабочем диапазоне 300–850 Вт при частоте 2450 Гц на процессы формирования комбинированных текстильных материалов, предложены схемы построения непрерывных технологий их формирования. Получены регрессионные модели зависимости температуры и физико-химических свойств полимерного связующего от мощности и продолжительности воздействия электромагнитных волн СВЧ-диапазона. Установлено, что скорость пропитки увеличивается по сравнению с традиционным в 10–12 раз, доказано увеличение объема порового пространства, заполняемого полимерным связующим, и улучшение физико-механических свойств готовых материалов. В результате оптимизации получена простая для технологических расчетов эмпирическая модель для расчета оптимальной комбинации режимных параметров СВЧ-обработки.

12. Проведена промышленная апробация конструкции аэродинамического устройства, позволяющего формировать ворсовое покрытие потоком сжатого воздуха на различных поверхностях. С использованием устройства разработана и внедрена в производство предприятий холдинга «Белорусские обои» новая технология формирования ворсового покрытия. Технология и конструкция аэродинамического устройства запатентована в Республике Беларусь.

13. В производственных условиях предприятий холдинга «Белорусские обои» и РУПТП «Оршанский льнокомбинат» впервые разработана технология формирования слоистого материала с тканым покрытием клеевым способом на существующей тех-

нологической линии для нового ассортимента технического текстиля для интерьера – текстильных настенных покрытий. Технология запатентована в Республике Беларусь.

14. Разработана и внедрена на ОАО «Витебский комбинат шелковых тканей» сокращенная технология формирования комбинированных текстильных материалов с заданными свойствами непрерывным способом с ткацкого станка на пропитку. Рекомендованные рецептуры полимерных композиций для придания специальных свойств позволяют значительно расширить ассортимент технического текстиля.

15. Разработана и внедрена на предприятиях холдинга «Белорусские обои» и ОАО «Витебский комбинат шелковых тканей» энергоэффективная технология формирования комбинированных текстильных материалов с использованием СВЧ-обработки, что позволит интенсифицировать операции пропитки, сушки и термофиксации, а также улучшить качество готового материала.

16. Разработан ассортимент новых комбинированных текстильных материалов, предложены направления их использования и замены импортных аналогов при производстве товаров народного потребления. Разработаны технические условия на новые виды комбинированных текстильных материалов, выпущены опытные и промышленные партии.

ОСНОВНЫЕ РАБОТЫ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в научных изданиях, включенных в список ВАК Российской Федерации

1. Kogan, A.G. Same possibilities for expanding the assortment of chemical fibres and filaments of new structures / **N. N. Yasinskaya**, N.V. Skobova, S.S. Medvetskii // *Fibre Chemistry*. – 1999. – Т. 31, № 2. – С. 102–104.

2. Коган, А.Г. Высокоусадочные пневмотекстурированные нити / Коган А.Г., **Н. Н. Ясинская**, Н. В. Скобова // *Текстильная промышленность*. – 2000. – № 5. – С. 17–18.

3. Чукасова-Ильюшкина, Е. В. Исследование влияния скорости воздушно-волоконистой струи на свойства текстильных многослойных материалов / Е. В. Чукасова-Ильюшкина, **Н. Н. Ясинская**, А. Г. Коган // *Текстильная промышленность*. – 2007. – № 8. – С. 43–45.

4. **Ясинская, Н. Н.** Исследование влияние параметров аэродинамической частицы на процесс напыления потоком сжатого воздуха / Н. Н. Ясинская, В. И. Ольшанский, Е. В. Чукасова-Ильюшкина // *Текстильная промышленность*. – 2009. – № 3. – С. 28–29.

5. **Ясинская, Н. Н.** Исследование процесса термообработки текстильных многослойных материалов / Н. Н. Ясинская, В. И. Ольшанский, Е. В. Чукасова-Ильюшкина // *Текстильная промышленность*. – 2010. – № 3. – С. 16–18.

6. **Yasinskaya, N. N.** Experimental study and optimization of the composition of heat-insulating tiles made of textile production wastes / N. N. Yasinskaya, A. M. Karpenya, E. V. Chukasova-Ilyushkina // *Fibre Chemistry*. – 2011. – Т. 42, № 6. – С. 388–390.

7. Karpenya, A. M. Study of heating process for producing pliant synthetic fibre boards utilizing short-fibred wastes of natural and chemical fibre treatment / A. M. Karpenya, **N. N. Yasinskaya**, Y. P. Verbitskaya, V. I. Olshanskii // *Fibre Chemistry*. – 2013. – Т. 44, № 5. – С. 307–310.

8. Бизюк, А. Н. Влияние СВЧ-излучения на физико-механические свойства текстильных материалов / А. Н. Бизюк, С. В. Жерносек, В. И. Ольшанский, **Н. Н. Ясинская** // *Известия вузов. Технология легкой промышленности* / Санкт-Петербургский университет технологии и дизайна (Санкт-Петербург). – 2013. – Т. 20, № 2. – С. 16–18.

9. Bazeko, V. V. Analysis of the structure of the textile reinforcement of a composite material / V. V. Bazeko, **N. N. Yasinskaya** // *Fibre Chemistry*. – 2014. – Т. 46, № 4. – С. 245–249.

10. Бизюк, А. Н. Исследование влияния СВЧ-излучения на показатели качества тканых полотен / А. Н. Бизюк, С. В. Жерносек, В. И. Ольшанский, **Н. Н. Ясинская** // *Известия вузов. Технология текстильной промышленности* / Ивановская государственная текстильная академия

(Иваново). – 2014. – № 2 (350). – С. 17–20.

11. Бизюк, А. Н. Моделирование процесса пропитки текстильных материалов под действием СВЧ-излучения / А. Н. Бизюк, С. В. Жерносек, В. И. Ольшанский, **Н. Н. Ясинская** // Известия вузов. Технология легкой промышленности / Санкт-Петербургский университет технологии и дизайна (Санкт-Петербург). – 2014. – Т. 23, № 1. – С. 16–18.

12. Бизюк, А. Н. Оптимизация технологического процесса формирования текстильных композиционных материалов в условиях воздействия электромагнитных волн СВЧ- и ИК-диапазона / А. Н. Бизюк, С. В. Жерносек, В. И. Ольшанский, **Н. Н. Ясинская** // Журнал «Химическая технология» (Москва). – 2015. – Т. 16, № 1. – С. 6–12.

13. **Ясинская, Н. Н.** Исследование распределения дисперсии стирол-акрилата по объему тканой основы при формировании текстильного композиционного материала / Н. Н. Ясинская, В. В. Мурычева // Известия вузов. Технология легкой промышленности / Санкт-Петербургский университет технологии и дизайна (Санкт-Петербург). – 2016. – Т. 33, № 3. – С. 36–39.

14. Бизюк, А. Н. Оптимизация технологических параметров СВЧ-обработки комбинированных высокоусадочных текстильных материалов / А. Н. Бизюк, С. В. Жерносек, **Н. Н. Ясинская**, В. И. Ольшанский, А. Г. Коган // Известия вузов. Технология легкой промышленности / Санкт-Петербургский университет технологии и дизайна (Санкт-Петербург). – 2016. – Т. 32, № 2. – С. 33–36.

15. Бизюк, А. Н. Моделирование процесса усадки комбинированных текстильных материалов в условиях СВЧ-излучения / А. Н. Бизюк, С. В. Жерносек, **Н. Н. Ясинская**, В. И. Ольшанский, А. Г. Коган // Известия вузов. Технология текстильной промышленности / Ивановская государственная текстильная академия (Иваново). – 2017. – № 4 (370). – С. 98–103.

16. Бизюк, А. Н. Моделирование геометрических и структурных свойств волокнистого материала для текстильных армирующих основ / А. Н. Бизюк, **Н. Н. Ясинская** // Известия вузов. Технология легкой промышленности / Санкт-Петербургский университет технологии и дизайна (Санкт-Петербург). – 2017. – Т. 37, № 3. – С. 10–14.

17. Milašius, R. Development of an electrospun nanofibrous web with hyaluronic acid / Milašius R., Ragaišienė A., Rukuižienė Ž., Mikučionienė D., Ryklin D., **Yasinskaya N.**, Yeutushenka A. // Fibres and Textiles in Eastern Europe. – 2017. – Т. 25, № 5. – С. 8–12.

18. **Ясинская, Н. Н.** Моделирование структуры текстильных материалов для формирования слоистых композитов / Н. Н. Ясинская, А. Н. Бизюк, К. Э. Разумеев // Известия вузов. Технология текстильной промышленности / Ивановская государственная текстильная академия (Иваново). – 2018. – № 6 (378). – С. 273–277.

19. **Ясинская, Н. Н.** Построение номенклатуры показателей качества композиционных слоистых текстильных материалов декоративно-отделочного назначения / Н. Н. Ясинская, Н. В. Скобова, И. А. Петюль // Известия вузов. Технология легкой промышленности / Санкт-Петербургский университет технологии и дизайна (Санкт-Петербург). – 2018. – Т. 37, № 3. – С. 10–14.

20. Кульнев, А. О. Интенсификация процесса крашения текстильных материалов из синтетических волокон катионными красителями с использованием акустических колебаний ультразвукового диапазона / А. О. Кульнев, С. В. Жерносек, В. И. Ольшанский, **Н. Н. Ясинская** // Известия вузов. Технология легкой промышленности / Санкт-Петербургский университет технологии и дизайна (Санкт-Петербург). – 2018. – Т. 41, № 3. – С. 27–30.

21. **Ясинская, Н. Н.** Разработка алгоритма проектирования и процесса формирования слоистых текстильных материалов декоративно-отделочного назначения / Н. Н. Ясинская, В. В. Мурычева // Известия вузов. Технология легкой промышленности / Санкт-Петербургский университет технологии и дизайна (Санкт-Петербург). – 2019. – Т. 43, № 1. – С. 71–75.

22. **Ясинская, Н. Н.** Расчет прочности адгезионного соединения при формировании слоистых текстильных материалов / Н. Н. Ясинская, Н. В. Скобова, А. Н. Бизюк // Известия вузов. Технология легкой промышленности / Санкт-Петербургский университет технологии и дизайна (Санкт-Петербург). – 2019. – Т. 43, № 1. – С. 24–27.

23. Скобова, Н.В. Технология аддитивной отделки нетканых текстильных материалов, получаемых методом прямого формования / Н.В. Скобова, **Н.Н. Ясинская**, Л.Е. Соколов, С.С. Гришанова // Химические волокна. – 2019. – № 1. – С. 36–38.

Статьи в научных изданиях, включенных в список ВАК Республики Беларусь

24. Калиновская, И. Н. Создание льносодержащих текстильных настенных покрытий / И. Н. Калиновская, **Н. Н. Ясинская** // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2005. – Вып. 7. – С. 9–13.

25. Калиновская, И. Н. Определение продолжительности процесса сушки при производстве текстильных настенных покрытий / И. Н. Калиновская, **Н. Н. Ясинская** // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2005. – Вып. 8. – С. 72–76.

26. Чукасова-Ильюшкина, Е. В. Применение волокнистых отходов в композиционных строительных смесях / Е. В. Чукасова-Ильюшкина, **Н. Н. Ясинская**, А. Г. Коган // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2005. – Вып. 9. – С. 25–28.

27. Чукасова-Ильюшкина, Е. В. Исследование процесса формирования комбинированных текстильных материалов / Е. В. Чукасова-Ильюшкина, **Н. Н. Ясинская** // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2007. – Вып. 12. – С. 50–53.

28. Калиновская, И. Н. Обоснование выбора конструкции ножа для обрезки кромки текстильных настенных покрытий / И. Н. Калиновская, **Н. Н. Ясинская**, А. Г. Коган // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2007. – Вып. 13. – С. 67–71.

29. Чукасова-Ильюшкина, Е. В. Исследование геометрических параметров аэродинамического устройства для нанесения мелкодисперсных частиц потоками сжатого воздуха / Е. В. Чукасова-Ильюшкина, **Н. Н. Ясинская**, В. И. Ольшанский // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2008. – Вып. 15. – С. 39–43.

30. Базеко, В. В. Исследование физико-механических свойств тканей со специальными видами заключительной отделки / В. В. Базеко, **Н. Н. Ясинская**, А. Г. Коган // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2010. – Вып. 18. – С. 9–13.

31. Чукасова-Ильюшкина, Е. В. Перспективность технологий с использованием текстильных вторичных материальных ресурсов / Е. В. Чукасова-Ильюшкина, **Н. Н. Ясинская**, А. Г. Коган // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2010. – Вып. 18. – С. 105–109.

32. Базеко, В. В. Исследование процесса заключительной отделки вискозных подкладочных тканей / В. В. Базеко, **Н. Н. Ясинская**, А. Г. Коган // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2011. – Вып. 19. – С. 8–12.

33. Волотова, В. С. Технология специальной отделки декоративных композиционных материалов / В. С. Волотова, **Н. Н. Ясинская**, А. Г. Коган // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2011. – Вып. 20. – С. 23–28.

34. Базеко, В. В. Исследование физико-механических, гигиенических и эксплуатационных свойств льняных декоративных материалов / В. В. Базеко, **Н. Н. Ясинская**, А. Г. Коган // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2011. – Вып. 21. – С. 13–18.

35. Бизюк, А. Н. Исследование пропитки текстильных материалов в поле СВЧ-излучения / А. Н. Бизюк, С. В. Жерносек, В. И. Ольшанский, **Н. Н. Ясинская** // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2014. – Вып. 26. – С. 21–28.

36. Бизюк, А. Н. Интенсификация процесса термообработки химических высокоусадочных нитей / А. Н. Бизюк, С. В. Жерносек, В. И. Ольшанский, **Н. Н. Ясинская**, А. Г. Коган // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2014. – Вып. 27. – С. 9–17.

37. Бизюк, А. Н. Имитационное моделирование пористой структуры армирующих химических нитей / А. Н. Бизюк, **Н. Н. Ясинская** // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2017. – Вып. 32. – С. 33–40.

38. **Ясинская, Н. Н.** Определение глубины проникновения полимерного связующего в текстильный материала при формировании слоистых композитов / Н. Н. Ясинская, А. О. Куль-

нев // Вестник Витебского государственного технологического университета. – № 2 (35). – 2018. – С. 95–103.

Патенты на изобретения

39. Способ получения нетканого текстильного материала и устройство для получения нетканого покрытия текстильного материала: пат. № 10383 Респ. Беларусь, МПК D 04N 1/00 / Е. В. Чукасова-Ильющкина, **Н. Н. Ясинская**, В. И. Ольшанский, А. Г. Коган; заявитель ВГТУ. – № а 20050939; заявл. 30.09.2005; опубл. 28.02.2008 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці / 2008. – № 1. – С. 107.

40. Устройство для формирования комбинированных материалов: пат. № 3216 Респ. Беларусь, МПК D 06N 7/02 / А. А. Угольников, В. И. Ольшанский, Е. В. Чукасова-Ильющкина, **Н. Н. Ясинская**, А. Г. Коган; заявитель ВГТУ. – № и 20060354; заявл. 02.06.2006; опубл. 30.12.2006 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці / 2006. – № 6. – С. 188.

41. Композиционная строительная смесь: пат. № 10756 Респ. Беларусь, МПК C 09D 5/28 / Е. В. Чукасова-Ильющкина, **Н. Н. Ясинская**, А. Г. Коган; заявитель ВГТУ. – № а 20050375; заявл. 11.04.2005; опубл. 30.06.2008 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці / 2008. – № 3. – С. 105.

42. Комбинированный декоративный материал: пат. № 3644 Респ. Беларусь, МПК D 06N 7/00 / Е. В. Чукасова-Ильющкина, **Н. Н. Ясинская**, А. Г. Коган; заявитель ВГТУ. – № и 20060748; заявл. 13.11.2006; опубл. 30.06.2007 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці / 2007. – № 3. – С. 201.

43. Способ получения дуплексных текстильных настенных покрытий : пат. № 14774 Респ. Беларусь, МПК D 04N 00/00 / И. Н. Калиновская, **Н. Н. Ясинская**, А. Г. Коган; заявитель ВГТУ. – № а 20060661; заявл. 04.07.2006 ; опубл. 28.02.2008, бюллетень № 1 . – С. 20.

44. Многослойный огнетермостойкий материал : пат. № а 20051295 Респ. Беларусь, МПК: 7D 06N 7/02 / Е. В. Чукасова-Ильющкина, **Н. Н. Ясинская**, А. Г. Коган; заявитель ВГТУ. – № а 20051295; заявл. 23.12.2005; опубл. 30.06.2007 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці / 2007. – № 3. – С. 201.

45. Настенное покрытие : пат. № 5436 Респ. Беларусь, МПК: В 32В 29/00 / Е. Л. Кулаженко, **Н. Н. Ясинская**, Е. В. Чукасова-Ильющкина, А. Г. Коган; заявитель ВГТУ. – № и 20080567; заявл. 15.07.2008; опубл. 30.08.2009 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці / 2009. – № 4.

46. Настенное покрытие : пат. № 1554 Респ. Беларусь, МПК: 7В 32В 29/00, В 32 В 33/00 / **Н. Н. Ясинская**, А. Г. Коган; заявитель ВГТУ. – № и 20030551; заявл. 30.12.2003; опубл. 30.09.2004 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці / 2004. – № 3 (42).

Монографии

47. **Ясинская, Н. Н.** Нестационарная теплопроводность текстильных материалов : [монография] / Н. Н. Ясинская, В. И. Ольшанский, А. Г. Коган. – Витебск : УО «ВГТУ», 2003. – 171 с.

48. **Ясинская, Н. Н.** Композиционные текстильные материалы : [монография] / Н. Н. Ясинская, В. И. Ольшанский, А. Г. Коган. – Витебск : УО «ВГТУ», 2016. – 299 с.